



AVALIAÇÃO DE TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS E DEFEITOS EM PEÇAS FABRICADAS PELO PROCESSO DE MICROFUSÃO A PARTIR DE UMA MATRIZ DE INJEÇÃO DE CERA

Gabriel Silvio Citolin Sottili, gabrielsottili@gmail.com¹

Lisiane Trevisan (orientador), lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br¹

¹IFRS – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha, Avenida São Vicente, nº 785, Bairro Cinquentenário, CEP 95174-274 - Farroupilha/RS

Resumo: Na metalurgia existem inúmeros e variados processos para fabricação de peças em aço, um desses é a fundição de precisão. Nesse processo, a peça é fabricada a partir de um modelo que foi obtido pela injeção de cera em um molde metálico, denominado na indústria como matriz de injeção. Na próxima etapa os modelos são unificados em um cacho de cera e revestidos em banhos cerâmicos. Em um forno a cera é derretida e o molde é calcinado em alta temperatura sendo, então preenchido com metal líquido. Esse processo, se destaca pela excelente qualidade superficial e tolerâncias dimensionais estreitas, além de permitir a confecção de peças complexas e com espessuras de parede reduzidas. Neste contexto, a proposta deste estudo foi avaliar tolerâncias dimensionais e possíveis defeitos de peças fabricadas utilizando uma matriz de injeção projetada e desenvolvida em parceria com uma empresa especializada em fundição de precisão. Assim, realizou-se a fundição de 3 lotes distintos de peças. As amostras de cada lote foram catalogadas e separadas de acordo com cada cavidade da matriz. Para a análise dimensional e visual, utilizou-se paquímetro digital e projetor de perfil. Constatou-se, que as principais medidas respeitaram as tolerâncias estabelecidas pela norma NBR 15990 e estabelecidas pela empresa, além disso, não foram observados defeitos visuais significativos característicos do processo ou ocorridos por falha do projeto da matriz de injeção como, por exemplo, rechupe ou preenchimento incompleto da peça em aço.

Palavras-chave: fundição, matriz de injeção, cera, tolerâncias, precisão.

1. INTRODUÇÃO

A fundição de metais, pelo método de microfundição, já era utilizada pelos egípcios a aproximadamente 4.000 anos a.C. Artefatos microfundidos foram encontrados na região Mesopotâmica, Grécia e no continente americano, principalmente na época pré-colombiana, quando as civilizações locais já possuíam jóias, estátuas e inúmeros artefatos em metal feitos pelo processo de microfundição ou fundição de precisão. Após muitos anos estagnado, este processo produtivo voltou a ser utilizado para produção de peças quando é necessário bom acabamento superficial, aprimoramento dimensional e reprodução de pequenos detalhes. Ainda, durante o período da segunda grande guerra mundial, os alemães utilizaram este processo na fabricação de peças para armamentos, pois a precisão dimensional obtida pelo processo de microfundição é superior à fundição convencional (MACHADO, 2005).

Algumas das indústrias que atualmente ainda utilizam peças produzidas pelo processo de cera perdida, como também é conhecida a microfundição, são a aeroespacial, automobilística, eletrônica, alimentícia, agrícola, petroquímica, mecânica, têxtil, marítima, nuclear, médica, equipamentos óticos e armamento. É importante ressaltar que esta lista de aplicações ainda possui inúmeros tipos de indústrias (BIDWELL, 1997).

O processo de fundição por cera perdida é comparado a diversos processos de conformação, no entanto, oferece vantagens únicas e exclusivas. Os benefícios deste processo incluem variedades de formas e projetos, estreitas tolerâncias dimensionais, excelente acabamento superficial, padronização, redução de custos com posterior usinagem e montagem de peças e componentes (BIDWELL, 1997).

Dessa forma, para fabricação de peças destinadas à indústria, o processo de microfundição inicia com a fabricação de um modelo da peça em cera, em seguida, é recoberto por um material refratário que endurece ao ser aquecido para fazer o molde, sendo aquecida, a cera então é derretida, ficando só a casca feita com o material refratário, logo depois, o molde é aquecido à temperatura de até 1.100 °C, o metal é vazado no molde e posteriormente é levado para solidificar e desmoldar, resultando na peça final (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2014).

No processo de fundição de precisão, é fundamental que o modelo em cera esteja correto, pois nesta etapa se define a forma e as dimensões da peça final. Para a produção desses modelos, é utilizada uma matriz de injeção, a qual possui uma ou mais cavidades com o formato da peça desejada. Entretanto, no projeto da matriz são introduzidas correções dimensionais que visam compensar as contrações e expansões da cera, do molde cerâmico ou do próprio metal. Isso é necessário para compensar a contração volumétrica da cera em relação a contração da solidificação do metal. Quanto ao material para a fabricação dos modelos, a cera é o mais comum e usual, caracterizando assim o processo de fundição por cera perdida (HORTON, 1998).

As matrizes de injeção de cera quente são compostas por inúmeros componentes, porém o molde superior e o inferior destacam-se como os principais, pois é onde a cavidade com o formato da peça fica localizada. Ainda, existem projetos que possuem machos, os quais possuem a função de formar a parte interna de um eventual produto. Nesses, devem existir ângulos de extração (ângulo de saída do produto), fundamentais para que seja possível a desmoldagem do produto dentro da cavidade e também em torno dos machos. Outro componente fundamental para os projetos são os pinos extratores, responsáveis pela extração do modelo em cera do molde de metal. Demais partes, como por exemplo, pinos, calços e molas, servem para guiar e referenciar a matriz na injetora de cera quente (ZOTO, 2020).

Os componentes das matrizes são fabricados com a utilização de aço ou em alguns casos, de alumínio. Outro fator importante para o projeto de matrizes para microfundição é a adição de canais de entrada, localizados nas seções de maior massa da peça. Basicamente, esses canais têm as funções de ligar o modelo a uma vareta ou canal, formando um cacho, servir de saída para o material do modelo durante a deceragem e servir de entrada do metal líquido durante o vazamento, garantindo o enchimento de aço da peça e solidificação dirigida. Ainda, outro fator de influência para que a peça final tenha um bom preenchimento de metal, é a utilização de raios nos cantos das peças, assim permitindo uma usinagem mais simples da matriz, além de reduzir as falhas envolvendo o preenchimento com aço (MUSSATO, 2014).

Dessa forma, a matriz de injeção do modelo em cera é o ponto inicial do processo de microfundição, portanto sua correta fabricação é fundamental para que a peça final atenda as dimensões e características solicitadas. Sendo assim, o principal objetivo deste trabalho foi avaliar as tolerâncias dimensionais, de acordo com a NBR 15990, e identificar possíveis defeitos visuais de uma peça microfundida, fabricada a partir de uma matriz de injeção desenvolvida em *software* CAD 3D e construída em parceria com a empresa E.R. Amantino. Também, por se tratar de uma informação bastante usual em fundição, buscou-se avaliar o rendimento metalúrgico da peça em questão.

2. METODOLOGIA

2.1. Fabricação da matriz

O projeto de fabricação da matriz foi realizado em parceria com a empresa E.R. Amantino. Assim, o desenvolvimento iniciou com a concepção do projeto no *software* CAD 3D SolidFace, demonstrado na Figura 2.1 sendo que neste primeiro momento diversos aspectos fundamentais para a fabricação de um molde para injeção de cera foram definidos, sendo eles, cavidades, canal de alimentação, canais de preenchimento, pinos extratores, calços e tampas. Ainda, nesta etapa é acrescentado um valor de 3% a mais no volume das cavidades, para a compensação das contrações volumétricas entre a cera e o metal líquido. Esse valor é padrão para todos os projetos realizados pela empresa, e não variam com o aço utilizado para fundição.

Além disso, os materiais utilizados para a fabricação dos componentes também foram definidos nesta etapa, assim, pela cera ser injetada à quente, ou seja, os esforços sofridos pelas paredes e demais partes do molde serão muito baixos, dessa forma, foi definido o uso do aço SAE 1020 para a fabricação.

As dimensões do projeto também são definidas nesta etapa, é levado em consideração a quantidade de peças que serão produzidas por cada lote solicitado pela empresa, para que assim, quanto maior a solicitação de peças maior será o tamanho da matriz e o número de cavidades nela contida.

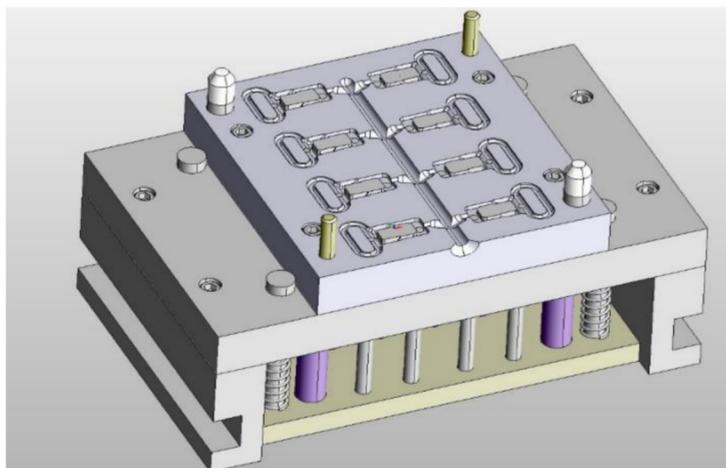


Figura 2.1. Projeto em CAD. Fonte: Autor.

Para que o modelo em cera seja retirado da matriz sem ser danificado, foi projetado um sistema com extratores automáticos, funcionando de modo que quando a matriz de injeção for aberta as peças sejam retiradas sem a necessidade do operador fazer a retirada de forma manual.

Ainda, para que as peças possam ser fixadas ao cacho, foi realizado a adição de um canal de preenchimento, conforme Figura 2.2. Esse, além da função de unir a peça ao cacho, tem o objetivo de facilitar a entrada do aço quente na peça, portanto, é importante que esteja localizado em regiões de maior massa, para que sua solidificação seja mais tardia em comparação com as demais. Esse canal após o metal estar solidificado é cortado da peça, e o acabamento na região do corte é feito com lixadeira rotativa.



Figura 2.2. Canal de preenchimento no modelo em cera.

Após o projeto em CAD estar concluído, o setor de matrizaria da empresa realizou a fabricação do projeto, conforme Figura 2.3. Para a execução, foram utilizadas máquinas modernas e com grande precisão dimensional, como por exemplo, centrais de usinagem e usinagem por eletroerosão. Além disso, para que os encaixes sejam ainda mais precisos, os ajustes finais foram feitos de forma manual utilizando lixas finas, assim, garantindo um excelente acabamento.

Além disso, o acabamento com lixa é feito para que o encaixe entre o molde superior e inferior fique com a folga mínima aceitável no processo, possibilitando assim, que nos modelos em cera seja minimizada a possibilidade de existir rebarbas ou vazamentos de material para fora da matriz de injeção.

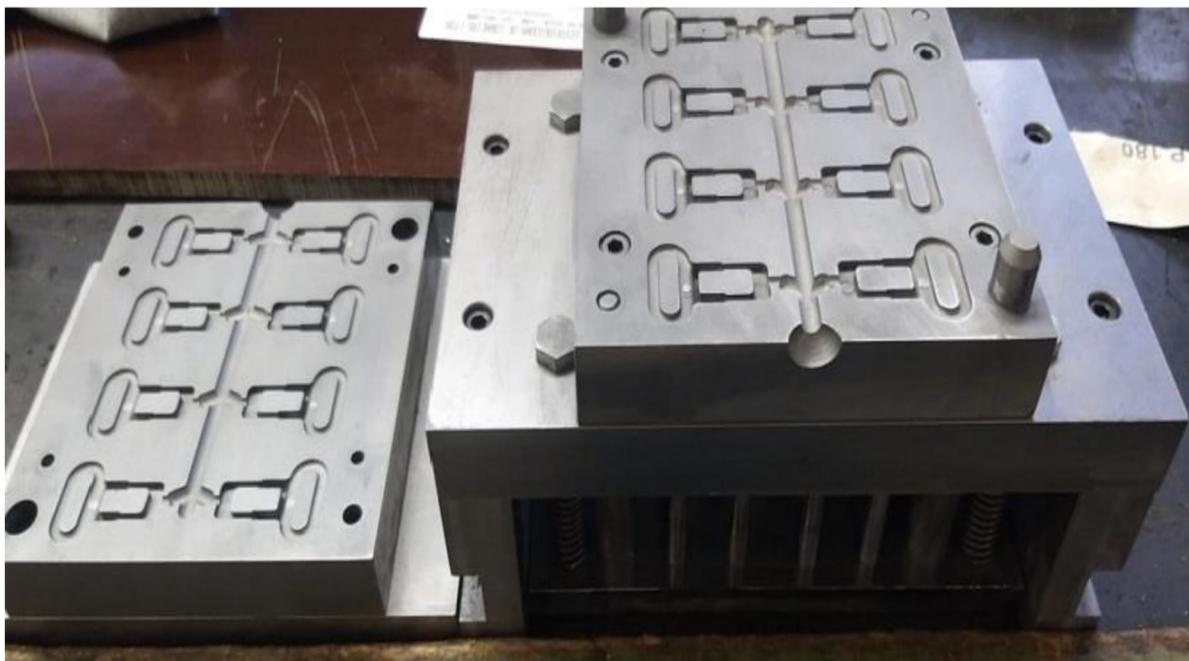


Figura 2.3. Matriz em processo final de acabamento.

2.2. Fabricação dos corpos de prova

Após a fabricação da matriz estar concluída, com a utilização de injetoras específicas para o processo, realizou-se na empresa a injeção das peças em cera. Após isso, as peças passaram por todo o processo de revestimento cerâmico e todas as demais etapas do processo produtivo, sendo fundidas em aço SAE 1045 a uma temperatura de 1600 °C.

Foram realizados lotes experimentais de 3 diferentes injeções, para análise de medidas e de possíveis defeitos. Ainda, para a análise individual dos corpos de prova, foi atribuído um número a cada uma das 8 diferentes cavidades da matriz, conforme demonstrado na Figura 2.4.

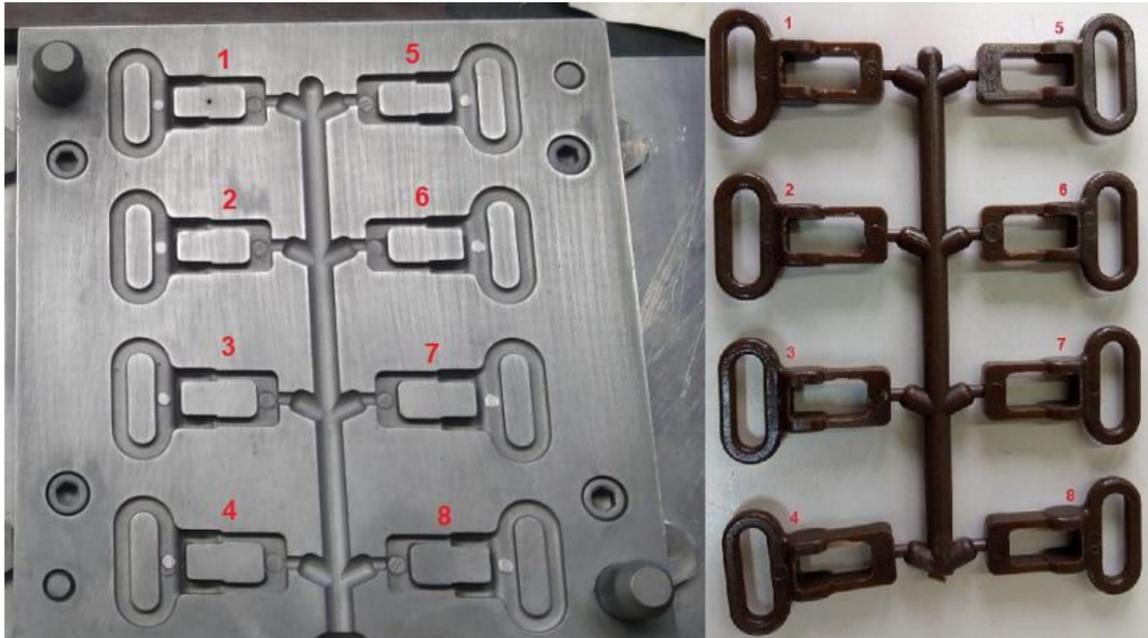


Figura 2.4. Numeração das cavidades.

Sendo assim, nos 3 lotes fabricados, todas as peças foram analisadas, com o objetivo de verificar cada uma das cavidades da matriz de forma individual. Conforme demonstrado na Figura 2.5, os corpos de prova em aço foram catalogados individualmente de acordo com suas respectivas numerações das cavidades da matriz de injeção e posteriormente medidos e analisados visualmente. Dessa forma, é possível identificar de forma rápida e eficiente falhas ou defeitos que podem estar ocorrendo em uma cavidade específica.

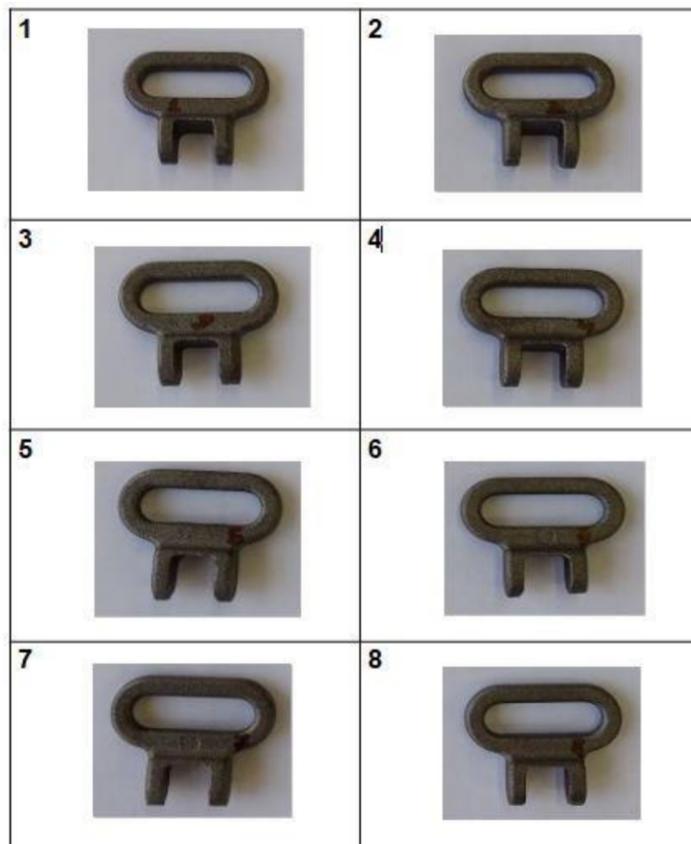


Figura 2.5. Corpos de prova em aço.

A Figura 2.6 apresenta, destacado em vermelho, as dimensões (A e B) e tolerâncias principais da peça disponibilizadas pela empresa. Essas medidas são fundamentais para o funcionamento correto da peça em sua aplicação e respeitam as orientações da norma NBR 15990, sendo que essa, define as tolerâncias de acordo com o grau de exatidão que o projeto exija, levando em consideração as dimensões da peça, conforme demonstrado na Tabela 2.1.

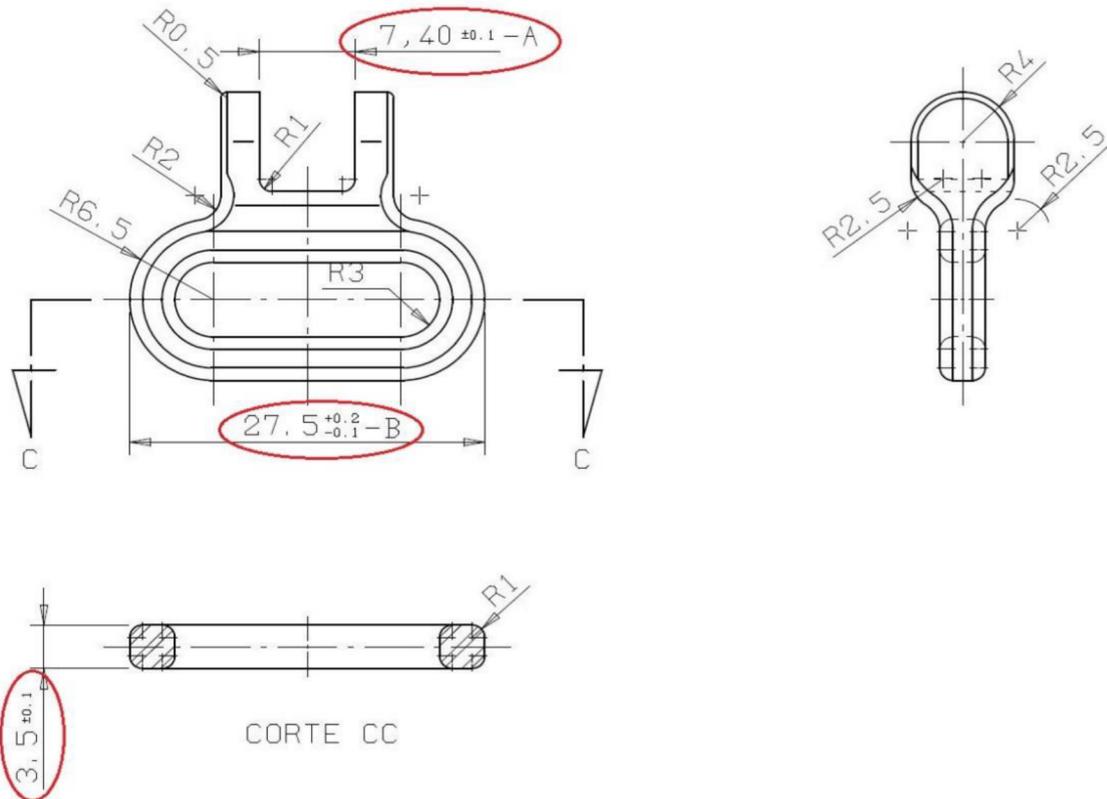


Figura 2.6. Desenho técnico da peça em estudo. Fonte: Autor.

Tabela 2.1. Graus de exatidão descritos na NBR 15990.

Dimensões (mm)	Graus de exatidão					
	D1	D2	D3	A1	A2	A3
Até 6	0,3	0,24	0,2	0,3	0,24	0,2
De 6 até 10	0,36	0,28	0,22	0,36	0,28	0,22
De 10 até 18	0,44	0,34	0,28	0,44	0,34	0,28
De 18 até 30	0,52	0,40	0,34	0,52	0,40	0,34
De 30 até 50	0,8	0,62	0,5	0,8	0,62	0,5
De 50 até 80	0,9	0,74	0,6	0,9	0,74	0,6
De 80 até 120	1,1	0,88	0,7	1,1	0,88	0,7
De 120 até 180	1,6	1,30	1,0	1,6	1,3	1,0
De 180 até 250	2,4	1,90	1,5	1,9	1,5	1,2
De 250 até 315	2,6	2,20	1,6	2,6	2,2	1,6

Fonte: NBR 15990

2.3. Análise dos corpos de prova

Para verificação dimensional foi utilizado o paquímetro digital Mitutoyo modelo 500-196-20, e para análise visual com maior aproximação dos perfis das peças o projetor de perfil Mitutoyo modelo PH-3500, conforme apresentado na Figura 2.7. Ambos os equipamentos foram calibrados e validados de acordo com a norma ABNT NBR ISO 10012. Dessa forma, cada um dos 24 corpos de prova prontos, retirados a partir de 3 diferentes injeções, passaram por verificação das medidas e inspeção. Em cada peça foram realizadas 3 medições para cada cota analisada e posteriormente feita a média dos valores encontrados, para assim, obter resultados mais confiáveis. Ainda, como base para a conferência das medidas foram utilizados os dados descritos na NBR 15990.



Figura 2.7. Projetor de perfil.

2.4. Rendimento metalúrgico

Rendimento metálico é o índice que compara a quantidade de carga metálica utilizada com a quantidade de aço produzido, sendo um dos mais importantes indicadores das aciarias de alto desempenho em todo mundo. Basicamente consiste em determinar a porcentagem de metal útil nas peças em relação a todo o metal utilizado para a fabricação, ou seja, cachos e canais de preenchimento. Assim, a equação que determina o rendimento metalúrgico é a soma dos pesos das partes necessária para o enchimento (canais e cacho) dividido pela soma do peso das peças. Os valores considerados ideais de rendimento para a fabricação de peças fundidas é de mais de 50% (NASCIMENTO, 2008).

Dessa forma, para esse projeto são 150 peças por cacho, conforme Figura 2.8. O peso total, em aço, das peças, canal de preenchimento e cacho é de 8720g, enquanto que o final de cada uma das peças é de 9g. Com isso, o rendimento metálico do projeto é de aproximadamente 15,5 %.



Figura 2.8. Cacho montado com as peças em cera.

3. RESULTADOS

A Tabela 3.1 apresenta os resultados encontrados após a realização de 3 medições da medida A dos corpos de prova em aço, fabricadas pelo processo de microfusão. Vale destacar que, da mesma forma que em A, para a medida B e para a espessura de parede, também foram realizadas 3 diferentes medições em cada um dos corpos de prova.

Tabela 3.1. Valores das medições em A

Lote	Valores medidos em cada corpo de prova (mm)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	7,39	7,41	7,38	7,35	7,40	7,39	7,41	7,38
	7,40	7,41	7,37	7,35	7,40	7,40	7,41	7,37
	7,39	7,41	7,37	7,35	7,41	7,40	7,42	7,37
2	7,38	7,42	7,38	7,36	7,41	7,38	7,42	7,41
	7,38	7,43	7,38	7,35	7,41	7,38	7,42	7,40
	7,38	7,43	7,38	7,36	7,40	7,38	7,41	7,40
3	7,39	7,41	7,38	7,35	7,41	7,39	7,42	7,41
	7,39	7,40	7,38	7,36	7,40	7,39	7,42	7,41
	7,39	7,41	7,39	7,35	7,41	7,39	7,41	7,41

Com isso, foi realizada a média das 3 medições de cada peça e os valores médios encontrados para as medidas A e B são apresentados na Tabela 3.2 e Tabela 3.3, respectivamente. Ainda, as tabelas apresentam o desvio padrão calculado para cada lote realizado e também a média dos valores encontrados.

Tabela 3.2. Valores médios encontrados na medida A

Lote	Medidas médias de cada corpo de prova (mm)								Desvio Padrão
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	7,39	7,41	7,37	7,35	7,40	7,40	7,41	7,38	0,021
2	7,38	7,43	7,38	7,36	7,41	7,38	7,42	7,40	0,024
3	7,39	7,41	7,38	7,35	7,41	7,39	7,42	7,41	0,022
Média	7,38	7,41	7,37	7,35	7,40	7,39	7,42	7,40	0,022

Tabela 3.3. Valores médios encontrados na medida B

Lote	Medidas médias de cada corpo de prova (mm)								Desvio Padrão
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	27,62	27,58	27,55	27,58	27,54	27,62	27,59	27,64	0,035
2	27,60	27,59	27,55	27,62	27,51	27,59	27,58	27,64	0,040
3	27,63	27,56	27,53	27,59	27,51	27,63	27,59	27,62	0,045
Média	27,61	27,57	27,54	27,60	27,52	27,61	27,59	27,63	0,040

Nota-se que as medidas A e B das amostras mantiveram as tolerâncias dimensionais dentro do estabelecido pela NBR 15990 no grau 3 de exatidão, assim, conforme exigido pela empresa para as dimensões abordadas, as tolerâncias foram respeitadas. Dessa forma, para a medida A, a variação máxima encontrada entre todas as amostras, de forma geral, sem distinção entre as cavidades da matriz foi de 0,08 mm, ou seja, respeitando o valor estabelecido pela norma para dimensões de 6 mm até 10 mm. Ainda, as medidas apresentaram um desvio padrão médio de 0,022

mm, um valor menor do que 0,3% da medida indicada, demonstrando que nessa região da peça as cavidades foram usinadas com elevada padronização e uniformidade.

Da mesma forma, para a medida B, a variação máxima encontrada após as medições foi de 0,14 mm, no entanto diferentemente da anterior, essa variação foi positiva em todas as amostras, ou seja, valores maiores do que os 27,50 mm indicados no desenho. Entretanto, da mesma forma que em A, os valores estabelecidos para medidas de 18 mm até 30 mm da norma foram respeitados. Também, os valores encontrados apresentaram um desvio padrão médio de 0,04 mm, considerado bastante baixo, pois representa menos de 0,15% da dimensão analisada, confirmando que as cavidades estão em conformidade e padronizadas.

Quanto à espessura de parede, o projeto respeitou a norma, pois utilizou valores superiores a 1,25 mm. Ainda, conforme apresentado na Tabela 3.4, as amostras ficaram dentro dos valores estabelecidos na norma no grau 3 de exatidão e pela empresa, demonstrando uma variação geral máxima de 0,07 mm e apresentando um desvio padrão médio bastante baixo de 0,023 mm, de forma que igual as medidas A e B, as cavidades estão adequadas e padronizadas.

A respeito dos raios, o projeto conta com valores superiores a 0,4 mm, conforme indicado na norma. No entanto, por não possuírem medidas com restrições de tolerâncias que influenciem no produto final da empresa, não foi necessário a conferência dimensional.

Tabela 3.4. Valores médios encontrados na espessura de parede

Lote	Espessura de parede em cada cavidade (mm)								Desvio Padrão
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	3,48	3,51	3,49	3,52	3,52	3,50	3,52	3,54	0,019
2	3,47	3,48	3,47	3,53	3,51	3,47	3,50	3,52	0,024
3	3,48	3,50	3,47	3,54	3,48	3,49	3,52	3,52	0,024
Média	3,476	3,496	3,476	3,53	3,503	3,486	3,513	3,526	0,023

Ainda, de forma visual e com a utilização do projetor de perfil, constatou-se que todos os corpos de prova apresentaram um bom acabamento superficial, característica positiva do processo, e em nenhum defeitos comuns de fundição de precisão, como, por exemplo, falta de preenchimento e rebarbas foram observados, indicando que os canais de preenchimento foram projetados nos locais corretos e o fechamento da matriz bem executado na fabricação. No entanto, algumas das peças apresentaram marcas indesejáveis em suas superfícies, causadas pelos pinos extratores da matriz, conforme demonstra a Figura 3.1.



Figura 3.1. Peça com marca do pino de extração.

Acerca do rendimento metalúrgico, o valor de 15,5% é bastante baixo com relação a outros processos de fundição. No entanto, pelo peso e tamanho das peças serem bastante pequenos, além de que, o cacho utilizado pela empresa é de formato padrão para todos os projetos microfundidos, o rendimento final não é considerado um problema que inviabilize ou ocasione problemas na fabricação.

4. CONCLUSÃO

A correta aplicação das correções dimensionais para compensar as contrações e expansões da cera nos moldes da matriz de injeção, resultam em peças finais com tolerâncias de medidas conforme o solicitado pelo fabricante, isso evita o retrabalho de usinagem das cavidades dos moldes para adequação de medidas, reduzindo custos adicionais do projeto.

Outro fator muito importante é a localização na matriz dos canais de preenchimento de aço na peça, sendo que esse, deve estar posicionado na região de maior massa da peça, contribuindo para evitar possíveis erros decorrentes do processo, principalmente preenchimento incompleto do produto final.

Na prática, as amostras apresentaram um bom acabamento superficial, conforme o esperado pelo processo de fundição de precisão, no entanto, pela superfície plana da peça ser bastante pequena, a marca da extração pelos pinos extratores da matriz ficou visível em algumas das peças. Esse defeito visual, pode ser corrigido em processos posteriores, como, por exemplo, a utilização de jato de areia e pintura.

As tolerâncias dimensionais exigidas pela empresa e pela norma NBR 15990 foram todas respeitadas e ficaram dentro das expectativas do projeto, ainda, nenhum outro defeito decorrente da matriz de injeção foi constatado nas peças estudadas. Ainda, de acordo com as medidas retiradas, todas as cavidades apresentaram uniformidade e precisão na usinagem. Quanto ao rendimento metalúrgico, em virtude de o cacho ser padrão para o processo produtivo da empresa, não é possível obter maiores rendimentos.

Como sugestão de trabalhos futuros, indica-se estudar a possibilidade de um novo sistema para extração das peças na matriz, com o objetivo de não marcar a superfície das peças. Também propõe-se levar em consideração a viabilidade de um novo cacho, destinado exclusivamente para peças com pouca massa, ou ainda, a utilização de *softwares* para análise de rendimento metalúrgico durante o desenvolvimento do projeto.

5. AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar a força necessária para seguir em busca de aperfeiçoamento pessoal e profissional.

A professora e orientadora Lisiane Trevisan pelo apoio, confiança, troca de conhecimentos, enfim, por tudo que me ensinaste durante todos estes anos em que convivi no IFRS.

Aos meus familiares e namorada, por toda a contribuição para a minha formação pessoal e por terem me proporcionado e incentivado a continuidade dos estudos.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha, pela minha formação acadêmica, e por proporcionar o aprendizado contínuo.

Ao Grupo E.R. Amantino, em especial ao diretor técnico Rolf Paul, por ter possibilitado a realização deste trabalho e por ter permitido que meus horários fossem os mais flexíveis possíveis em função de minhas aulas.

Aos colegas de trabalho e sobre tudo amigos Edemilson Conte, Paulo Moro e Nico Emerick por terem me apoiado e contribuído na realização deste trabalho e de toda a graduação.

E aos demais amigos, colegas e familiares que contribuíram das mais variadas formas para a realização de minha graduação tanto quanto deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15990: Peças fundidas pelo processo de microfusão: Requisitos de fabricação, características e propriedades. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10012: Sistema de gestão de medição. Rio de Janeiro, 2004.
- Matos, L.S., 2018, “Mapeamento do fluxo do processo de produção de uma indústria de microfusão”, visando otimizar o tempo de entrega”, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, Brasil.
- Nascimento, C. C., 2008 “Modelamento do Rendimento Metálico em Fornos Elétricos a Arco”, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, Brasil
- Machado, I. M. L., 2001, “Tecnologia básica do processo de fundição por cera perdida”, SENAI-DR, Itaúna, Brasil.
- Mussato, R., 2014, “Projeto preliminar de uma garra para robô no revestimento cerâmico do processo de fundição por cera perdida”, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, Brasil, pag. 15-18.
- Kiminami, C., Castro, W., Oliveira, M., 2013, ” Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos”, Editora Blucher, São Paulo, Brasil.
- Baldan, R., Vieira, E., 2014, “ Fundição: processos e tecnologia correlatas”, Editora Érica, São Paulo, Brasil.
- Henn, O. F., 1997, “Avaliação da metodologia de recuperação da cera, bem como das características principais das ceras novas e recuperadas para microfusão”, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Horton, A. H., 1998, “Investment casting. In Annual Handbook: casting. Metal Park”, pag. 253-269.
- Alves, L. H. D., 2009, “Utilização do método de Taguchi na modelagem e otimização de vazios relacionados à solidificação em processo de fundição de aço ABNT 1030”, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, Brasil, pag. 28.
- Moro, N., 2007, “Processos de fabricação”, Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, pag. 14-15.
- Evangelista, A. S., Silva, J., 2020. “Processo de fundição e sua versatilidade”, Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, Ano 05, Ed. 03, Vol.11, pág. 21-50.
- Soares, A. G., 2000, “Fundição: Mercado, processos e metalurgia”, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, pag. 38-42.
- Zoto, J., F., 2020, “Especificação técnica aplicada as etapas de desenvolvimento de projeto de moldes de injeção de termoplásticos”, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, Brasil, pag. 21.

EVALUATION OF DIMENSIONAL TOLERANCES AND DEFECTS IN PARTS MANUFACTURED BY THE INVESTMENTE CASTING PROCESS FROM A WAX INJECTION MATRIX

Gabriel Silvio Citolin Sottili, gabrielsottili@gmail.com¹

Lisiane Trevisan (orientador), lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br¹

¹Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha, São Vicente Avenue, nº 785, Cinquentenário, CEP 95174-274 – Farroupilha/RS

Abstract: *In metallurgy there are numerous and varied processes for manufacturing steel parts, one of these is precision casting. In this process, the part is manufactured from a model that was obtained by injecting wax into a metallic mold, known in the industry as injection matrix. In the next step, the models are unified in a bunch of wax and coated in ceramic baths. In an oven the wax is melted and the mold is calcined at a high temperature and then filled with liquid metal. This process stands out for its excellent surface quality and narrow dimensional tolerances, in addition to allowing the production of complex parts with reduced wall thicknesses. In this context, the purpose of this study was to evaluate dimensional tolerances and possible defects of parts manufactured using an injection mold designed and developed in partnership with a company specialized in precision casting. Thus, the casting of 3 different batches of parts was carried out. The samples of each lot were cataloged and separated according to each cavity of the matrix. For the dimensional and visual analysis, a digital caliper and profile projector were used. It was found that the main measures respected the tolerances established by the NBR 15990 standard and established by the company, in addition, there were no significant visual defects characteristic of the process or occurred due to failure of the injection matrix design, such as, for example, shrinkage or incomplete filling of the steel part.*

Keywords: *casting, injection mold, wax, tolerances, precision.*