

Aspectos gerais da injeção de pó metálico (Fe) utilizando PEAD e borracha termoplástica**General aspects of metal powder (Fe) injection using HDPE and thermoplastic rubber**

DOI:10.34115/basrv4n6-060

Recebimento dos originais:03/11/2020

Aceitação para publicação:30/12/2020

Felipe Silva

Engenheiro Mecânico, UFRGS
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre /RS - Brasil
E-mail: felipepa@live.com

Clayton André Oliveira da Motta

Mestre em Engenharia, UFRGS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre/RS - Brasil
E-mail: clayton.motta@yahoo.com.br

Renato Mazzini Callegaro

Doutor em Engenharia, UFRGS
Instituto Federal Sul-rio-grandense, IFSul
Sapucaia do Sul/RS - Brasil
E-mail: renattocallegaro@sapucaia.ifsul.edu.br

José de Souza

Doutor em Engenharia, Fundação Liberato
Endereço:Rua Novo Hamburgo/RS - Brasil
E-mail: josesouza@liberato.com.br

Lirio Schaeffer

Doutor em Engenharia, UFRGS
Laboratório de Transformação Mecânica LdTM, UFRGS
Porto Alegre/RS – Brasil
E-mail: schaeffer@ufrgs.br

RESUMO

A Injeção de Pó Metálico ou MPI é um processo da metalurgia do pó, semelhante ao processo de injeção de plásticos. Este processo é ideal para obter peças de geometrias complexas, de difícil usinabilidade, de lotes de pequeno porte com acabamento e dimensões finais ou não. O processo de geração de peças por MPI apresenta diversas etapas que devem ser cuidadosamente seguidas para não promover erros que

comprometam a qualidade dos produtos. O objetivo deste trabalho foi produzir peças com diferentes polímeros no *binder* e após fazer a comparação entre eles com intuito de verificar seus diferentes impactos em comparativo com as diferentes granulometrias do pó de Fe e algumas propriedades obtidas das peças produzidas.

Palavras-chave: Pó Metálico, Injeção de Pó, Polímeros, Granulometria.

ABSTRACT

Metal Powder Injection or MPI is a process of powder metallurgy, similar to the plastic injection process. This process is ideal for obtaining parts of complex geometry, difficult to machinability, small batches with finishing and final dimensions or not. The process of parts generation by MPI has several steps that must be followed to avoid errors that compromise product quality. The objective of this work was to produce parts with different polymers in the binder and after comparing them in order to verify their different particle size and their impact on the properties obtained in the generated parts.

Key words: Metallic powder, Powder injection, Polymers, Granulometry.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Marino (2006) muitas empresas, visando uma elevação nos seus lucros, estão buscando uma maior assertividade na qualidade de produtos e rapidez de entrega, investindo nas fábricas inteligentes. Nessas fábricas a tecnologia e a inovação fazem parte do cotidiano, ofertando a fabricação de variados tipos de produtos em menores tempos [1].

Essa ideia reforça os estudos de Marris (1964) onde o autor estudou a taxa de planejamento de utilização dos equipamentos, onde segundo o mesmo autor, a montagem de uma planta fabril depende do nível da demanda agregada. A competitividade nas indústrias remete à necessidade de que se busquem as inovações de forma mais rápida e eficiente [2]. O termo inovação que é originado do latim “*innovazione*” apresenta como significado a renovação [3]. Acredita-se, no entanto, que a inovação representa a aplicação da criatividade, isto é, primeiramente têm-se a criatividade e após a inovação [4].

O processo de moldagem de pós por injeção (MPI) é uma das subdivisões da metalurgia do pó e é um processo semelhante ao processo de injeção de polímeros. Históricos mostram que tal processo foi realizado na fabricação de velas de ignição na década de 1920, mas somente em 1979 houve a aplicação industrial, sendo utilizado para a fabricação de peças em larga escala pela indústria [5].

O MPI é uma área muito usada na indústria e é muito competitiva para peças de pequeno porte e geometrias complexas. As pesquisas nessa área são necessárias e seus resultados interessam ao desenvolvimento tecnológico industrial. Assim sendo, a pesquisa apresentada tem como premissa analisar as propriedades geradas pelas peças modeladas e injetadas pelo processo MPI em diferentes condições de mistura onde a base de ferro apresentará misturas com PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e borracha termoplástica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho teve como objetivo principal estudar as propriedades obtidas (dureza, microdureza e densidade) nas amostras produzidas a partir da injeção de Pó de Ferro misturado com compostos orgânicos. Os compostos aos quais fazem parte da mistura são, principalmente, o PEAD e a Borracha Termoplástica (BT) como aglutinante alternativo. Após a geração dos espécimes, eles foram submetidos a análises do comportamento mecânico do material sinterizado para comparar as propriedades entre as peças geradas com PEAD e borracha termoplástica que é o objeto de interesse dessa pesquisa.

Todos os espécimes foram misturados com pó de ferro, tendo como matriz principal o *binder* com PEAD e como alternativo a Borracha Termoplástica (BT).

Os demais componentes poliméricos dos dois binders seguiram iguais para ambas as matrizes, a saber, Cera de Carnaúba, Parafina e Ácido Esteárico.

Com isso, buscou-se avaliar se a BT é uma alternativa viável tecnologicamente na área de MPI para o PEAD. Para a realização das misturas, foram usados os misturadores helicoidais (haake) e o planetário. A densidade das amostras foi medida no densímetro.

A extração química foi executada na estufa, com o uso adicional de hexano. A extração térmica foi feita em forno a vácuo e a sinterização em forno de atmosfera com gás Argônio.

A análise das propriedades de dureza Brinell e Vickers foi verificada com o uso de durômetros específicos para cada aplicação.

2.1 MOLDAGEM DE PÓS POR INJEÇÃO

Segundo Oliveira (2015), [6] o processo de moldagem de pós por injeção (MPI) é um processo derivado, oriundo do processo de injeção de plásticos somado à metalurgia do pó. Em MPI a carga injetável (*feedstock*) é uma mistura de aglutinante com pós-metálicos ou cerâmicos. O sistema aglutinante é composto de pós-inorgânicos e polímeros e tem a função de formar o veículo para o preenchimento do molde. No final do processo, o veículo deve ser removido através de processos químicos e térmicos antes da sinterização.

Algumas vantagens deste processo em relação a outros processos de fabricação:

- Fabricação de peças com geometrias altamente complexas;
- Baixa perda de material;
- Ampla gama de materiais disponíveis;
- Maior produtividade.

Na figura 1 está apresentado, em um fluxograma, o processo de MPI, desde a mistura dos componentes até a sinterização das peças.

Figura 1. Fluxograma do processo de MPI [7].



2.2 PROCESSO DE OBTENÇÃO DO PÓ

Conforme Silva (2017) os principais processos de produção de pós-finos, entre os vários utilizados, são: Moagem, métodos químicos e atomização [8]. Para um breve entendimento da influência da forma de obtenção dos pós na sua morfologia e granulometria é mostrado na tabela 1, alguns desses processos e sua influência.

Tabela 1. Técnicas de produção de Pós Metálicos relacionado com o tamanho de partículas, morfologia e custos relacionados com a produção [9].

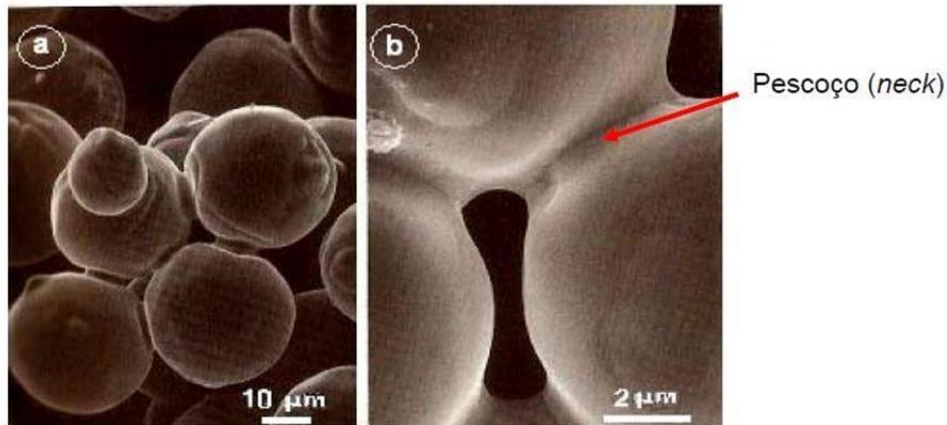
Técnica	Tamanho Médio de partículas (μm)	Morfologia	Custo
Atomização à gás	20 - 40	Esférico	Alto
Atomização à água	10 - 40	Arredondado	Moderado
Atomização centrífuga	25 - 40	Esférico	Alto
Carbonila	1 - 10	Esférico	Moderado
Redução de Óxido	1 - 10	Poligonal	Moderado
Precipitação	0,01 - 3	Poligonal	Baixo
Moagem	0,1 - 40	Irregular	Moderado

2.3 SISTEMA LIGANTE

O ligante é uma mistura de polímeros, os de cadeia curta (ceras e parafinas) caracterizando a plasticidade da massa de injeção e os de cadeia longa (Polipropileno e poliestireno) atribuindo resistência mecânica à mistura [10].

Na etapa de remoção do ligante, a mistura é removida química e termicamente e devem existir interações (*necks*) mínimas entre as partículas do pó antes da sua remoção, evitando assim possíveis distorções ou deformações da peça. A Figura 2 (a) e (b), mostra como se formam as interações (*necks*) entre as partículas do material durante a homogeneização do feedstock.

Figura 2. Interação entre as partículas (a) e (b), [10].



É comum misturar também alguns surfactantes para facilitar a molhabilidade do polímero ao pó e para diminuir a viscosidade do *feedstock*. Alguns exemplos de surfactantes são o ácido esteárico e a amida graxa, no caso da pesquisa apresentada, foi usado o ácido.

2.4 ETAPA DA MISTURA

Esta primeira etapa consiste na homogeneização dos componentes formando uma massa (*feedstock*) e neste trabalho foi usado o misturador *haake*. É interessante que a relação entre pó metálico e *binder* seja intensa, pois dessa relação resultará nas propriedades do *feedstock* [9]. O pó e o *binder* são misturados a quente acima do ponto de fusão dos constituintes, formando uma massa homogênea com taxa de cisalhamento constante e forças de interação razoáveis para proporcionar um revestimento uniforme na superfície do pó [11].

A proporção de cada material é importante porque define como o *feedstock* vai se comportar no final do processo. No caso de pouca quantidade de ligante, gerará um material altamente viscoso e conseqüentemente problemas na injeção. Todavia, havendo excesso de ligante, irá acarretar problemas no processo de extração, como tempo acima do normal e lacunas.

Normalmente a concentração pó ocupa, em volume, em torno de 60%. Existem formulações comercializadas que chegam a ter 80% de pó. É interessante utilizar uma concentração de 50% ou mais, pois abaixo disso, diminui significativamente a densidade da massa, podendo gerar problemas na injeção [11].

Problemas de segregação, injeção da carga no molde, de extração do ligante e viscosidade do material podem ter origem na mistura. *Binders* não homogêneos, ou com proporções inapropriadas de pós, polímeros, ou ainda de surfactantes, podem gerar um *feedstock* heterogêneo ou muito viscoso, o que pode gerar contrações diferenciadas na difusão, imperfeita molhabilidade dos pós com contatos excessivos das partículas ou então peças quebradiças ou com propriedades não uniforme [10].

2.5 ETAPAS DA INJEÇÃO

Esta é a segunda etapa do processo de MPI e consiste na inserção do *feedstock* no molde. O material é aquecido para que tenha fluidez suficiente para ser transportado através de um parafuso com rosca, semelhante ao processo de injeção de plásticos.

Na cavidade do molde, a carga injetada já toma a forma final da peça e então é resfriada [12]. Para evitar alguns problemas característicos deste processo, alguns parâmetros da máquina devem ser cuidados e controlados: temperatura de injeção, velocidade de injeção, temperatura do molde, pressão de moldagem, tempo de moldagem, tempo de resfriamento do molde.

2.6 ETAPA DE EXTRAÇÃO DOS LIGANTES

Nesta etapa será removido o veículo ou ligante que está atrelado à peça e ela sofre perda de resistência, exigindo um manuseio delicado para não comprometer a integridade da amostra [12].

Uma das razões para se adicionar diferentes componentes em MPI é que ajuda na resistência e fluidez durante a injeção do metal e ajuda na extração do ligante. Existem três métodos bastante usados para a remoção do ligante: dissolução por um solvente, ação da temperatura e ação catalítica. O método mais rápido é o por dissolução com solvente orgânico ou água.

Geralmente a remoção dos ligantes é realizada por um dos métodos mais complexos no que se refere: ao tempo (podem durar semanas); escolha do ambiente em que a amostra será submetida e a programação da temperatura. No método por ação da temperatura o primeiro componente a ser removido “abre caminho” ou “deixa lacunas” na peça e estes servirão de caminho para os demais componentes ou resíduos durante a remoção do ligante [13].

2.7 ETAPAS DA SINTERIZAÇÃO

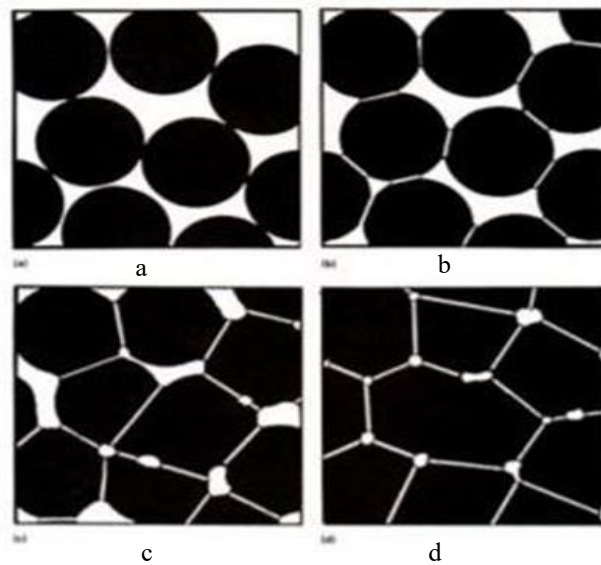
Esta é a última etapa da MPI e deve ocorrer a união entre as partículas através da densificação onde serão atribuídas propriedades mecânicas nas peças pelas ligações químicas [14].

A etapa de sinterização pode ser dividida em três estágios: No primeiro surgem os “*neck's*”, interações entre as partículas, há pouca retração da peça. No segundo momento as partículas iniciam o crescimento de grão e ocorre a densificação da peça, nesta etapa o formato dos poros é mais arredondado e o surgimento de poros isolados caracteriza o início da etapa final [10].

Um tamanho de grão reduzido é importante para manter a alta taxa de sinterização da peça e quando a peça atinge uma estrutura de porosidade de aproximadamente 8% diz-se que o componente está geometricamente estável.

A Figura 3 ilustra como se comporta o material e como ocorre a interação (crescimento de grãos) durante a fase de sinterização.

Figura 3. a) Partículas no início da sinterização. b) Primeiro momento da sinterização e crescimento de grãos. c) Mostra como se comporta as partículas durante o crescimento de grão. d) Final do processo de sinterização e crescimento de grão do material [3].



2.8 COMPARATIVOS DOS POLÍMEROS

O PEAD é um plástico rígido e possui alta resistência, temperatura de fusão em torno de 110°C e é uma boa alternativa para trabalhar com injeção ou sopro. A Borracha Termoplástica possui uma boa faixa de trabalho em temperaturas entre -60 °C e 135 °C sem fissuração ou oleosidades, possui maior poder de absorção de impactos, gerando menos ruídos em algumas peças [15].

3 MÉTODO USADO PARA REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Toda a matéria-prima foi selecionada e conferida para que houvesse quantidade suficiente para a pesagem e formação do *binder*. Na sequência, iniciou-se com a pesagem das amostras, em potes separados, num total de 10 potes de 150g cada com o objetivo de produzir 1,5 kg de amostra para cada material (PEAD e Borracha Termoplástica). Após a pesagem da matéria-prima dos componentes, a mistura foi encaminhada para o misturador *Haake*, onde se formou uma massa homogênea e então encaminhada para o triturador e por fim foram injetadas as amostras. Com as amostras prontas, verificaram-se suas densidades e deu-se início à extração química e posterior extração térmica para então fazer a sinterização das peças. Finalizado o processo de sinterização, os espécimes estão prontos para a realização dos testes, que é o objetivo principal desta pesquisa.

3.1 PREPARAÇÃO DO *BINDER*

Foram selecionadas as matérias-primas para a pesagem e então foram pesados os componentes em proporção conforme a Tabela 2, a seguir:

Tabela 2. Proporção das MP que foram utilizadas.

M.P.	Proporção de Volume (%)	Proporção em peso (%)
Pó de Ferro	63,18	84,2
Parafina	16,93	7,0
PEAD ou BT	9,52	4,2
Ácido Esteárico	5,79	2,5
Cera de Carnaúba	4,57	2,1

Após a pesagem da mistura de pó mais o aglomerante, as amostras foram misturadas e homogeneizadas no misturador Haake, visto na Figura 4.

Figura 4. Misturador Haake.



3.2 PELETIZAÇÃO DA MASSA MOÍDA

Após colocar o *feedstock* no Haake para misturar e homogeneizar, o equipamento misturador entrega como produto uma massa densa e homogênea com tamanhos variados e alguns grandes, para isso, faz-se necessário passar a massa no peletizador de facas. A Figura 5. Mostra o moinho utilizado na pesquisa e suas principais partes.

Figura 5. Moinho de facas.



O Moinho forneceu como produto a carga pronta para ser injetada, peletizada em partículas pequenas entre 1 mm e 5 mm, não uniforme. Essa moagem pode ser vista na Figura 6.

Figura 6. Material moído.



3.3 INJEÇÃO DA CARGA

A injetora utilizada é um equipamento de grande porte da marca HIMACO com alta capacidade de injeção, e o molde utilizado foi o de corpo de prova do tipo cotonete, conforme Figura 7.

Figura 7. Molde tipo Cotonete.



As amostras foram para a injeção, após serem peletizadas no moinho. Na injeção optou-se por utilizar um gradiente de temperatura no canhão de injeção (170°C-180°C-190°C). A injeção forneceu como produtos 4 amostras sendo 2 tipos mais finas, porém com a mesma proporção, devido ao molde.

3.3.1 Extração química

Algumas amostras foram levadas para o densímetro para obter a densidade após a injeção, antes da extração química. Então prosseguiu com a extração química utilizando como solvente o Hexano (C_6H_{14}) e um parâmetro de 60°C com as amostras submersas no solvente em estufa por quatro horas. Foram analisadas e comparadas as densidades das amostras.

Na extração química foram removidos apenas os componentes menos densos e solúveis ao reagente, ou seja, a parafina e a cera de carnaúba, principalmente.

3.3.2 Extração térmica

Após a extração química as amostras estão prontas para a extração térmica e remoção, principalmente, do PEAD e da Borracha Termoplástica. Nesta etapa também foi extraído alguma cera ou parafina residual.

Foi utilizada uma faixa de temperatura que oscilou entre 525°C a 550°C, partindo de 25°C (Temp. ambiente). A taxa de variação de elevação da temperatura foi de 0,1°C por minuto, totalizando ao final do processo de extração térmica um total de 87,5h ou 3,6 dias para que o processo de extração fosse concretizado. A Figura 8 mostra o forno utilizado para a extração térmica.

Figura 8. Forno para extração térmica.



No processo de extração térmica as amostras foram submetidas a uma atmosfera de vácuo, evitando possível oxidação das peças durante o processo e seu resfriamento ocorreu em temperatura ambiente.

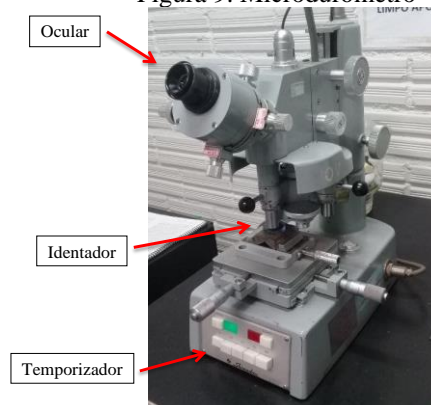
3.4 SINTERIZAÇÃO

Após a extração térmica as amostras foram submetidas à sinterização para eliminar os poros existentes nas peças. Neste processo foi utilizada a temperatura final de 1200°C, permanecendo nesta temperatura por 1h com taxa de aquecimento de 10°C por minuto. O controle da atmosfera foi realizado com a utilização do gás Argônio. O seu resfriamento ocorreu de maneira semelhante à extração térmica, ou seja, dentro do forno até temperatura ambiente.

3.5 TESTE DE DUREZA

Foi realizado dois tipos de testes de dureza nas amostras: Dureza Brinell e Microdureza Vickers. O equipamento utilizado para a realização dos testes de Microdureza Vickers é mostrado na Figura 9.

Figura 9. Microdurômetro Vickers.



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quatro tipos de amostras foram injetados com dois tipos de pós diferentes, duas com PEAD no binder e outras duas com borracha termoplástica. Após a injeção das cargas, foram pesadas e comparadas suas densidades, pesos e volumes, apenas das amostras com o pó Höganäs. O molde de injeção tem 4 cavidades, sendo 2 menores e 2 maiores.

A tabela 3 mostra o volume, peso e densidade das amostras logo após a injeção.

Tabela 3. Volume, peso e densidade após a injeção.

M.P.	Volume (cm ³)	Densidade (g/cm ³)	Peso (g)
Amostra PEAD grande	6,83	2,73	18,68
Amostra PEAD pequena	3,6	2,43	8,74
Amostra BT grande	6,59	3,16	20,79
Amostra BT pequena	3,55	3,17	11,25

Já a Tabela 4, mostra as mesmas variáveis, porém, agora, após a extração química.

Tabela 4. Volume, peso e densidade após a extração química.

M.P.	Volume (cm ³)	Densidade (g/cm ³)	Peso (g)
Amostra PEAD grande	6,51	2,81	18,2
Amostra PEAD pequena	3,48	2,47	8,58
Amostra BT grande	6,06	3,28	19,9
Amostra BT pequena	3,15	3,37	10,61

Com isso, chegou-se a tabela 5, a seguir, onde mostra a porcentagem de material removido, ou seja, a variação de volume, densidade e peso na extração química.

Tabela 5. Variação da extração química em percentual.

M.P.	Volume (cm ³)	Densidade (g/cm ³)	Peso (g)
Amostra PEAD grande	4,91	2,9	2,63
Amostra PEAD pequena	3,44	1,64	1,86
Amostra BT grande	8,74	3,79	4,00
Amostra BT pequena	12,69	6,30	6,03

As amostras foram submetidas ao teste de dureza e os dados coletados apresentaram as seguintes condições:

- As amostras com o pó TCK e com polímero de PEAD tiveram média de 88 Rockwell B. As demais amostras com o mesmo pó, não resistiram ao teste de dureza, sofrendo rompimento.

As amostras foram encaminhadas para teste de dureza e microdureza e analisadas no microscópio onde foram coletados os seguintes dados:

- Dureza Brinell: obteve uma média de 88 Rockwell Brinell nas amostras com o pó da empresa TCK, as amostras com o pó Höganäs não foi possível realizar o teste.
- Microdureza Vickers: Encontrou-se uma média de 62 e 181 Vickers, com as amostras com PEAD e BT, respectivamente. Estes testes foram com as amostras utilizando o pó da empresa TCK.

As demais amostras com o pó de Ferro diferente não puderam ser analisadas, devido ao fato de haver muitos poros e lacunas nas peças.

Após a marcação com o microdurômetro, fez-se necessário calcular os valores a partir do diâmetro da marcação da peça. Para isso, precisou utilizar um microscópio onde foram analisadas as amostras e então obtidos os diâmetros necessários para realizar os cálculos e obter o valor da microdureza Vickers utilizando a Equação 1.

$$HV0,1 = \frac{\pi 1,8544xP}{d^2} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde HV 0.1 identifica dureza Vickers com carga aplicada de 100kgf, P representa a força peso aplicada (kg) pelo indentador sobre a peça e (d) equivalem à média entre as duas diagonais (mm) compridas da indentação.

Com isso, chegou-se nos seguintes resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Média das Microdurezas Vickers obtidas para as amostras com o pó TCK.

Amostras	Mín.	Máx.	Média
PEAD	55	63	62
BT	76,5	291	181

5 CONCLUSÃO

Com os dados coletados, pode ser observado que a injeção de pó de ferro com os dois tipos de polímero (PEAD e BT) foram satisfatórias, apesar de haver defeitos em alguns espécimes. As amostras com PEAD não apresentaram defeitos na injeção, tal resultado já era esperado devido ao fato do material ser usual na indústria e seus efeitos já conhecidos. Os espécimes com Borracha Termoplástica (BT), mostraram ter boa resistência mecânica nos testes de dureza após sinterização. Elas se comportaram bem durante a extração térmica. Pode-se ter como conclusão para a pesquisa proposta que a Borracha Termoplástica pode substituir o PEAD no processo de injeção de pós metálicos (MIP), pois as injeções dos espécimes tiveram resultados

satisfatórios. Assim sendo, a borracha termoplástica pode vir a substituir o PEAD no processo comercial usual, gerando, talvez, com estudos próprios para tal fim, uma expectativa de um menor custo de produção.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio que nos fora prestado pela Instituição IFSul na cidade de Sapucaia do Sul. Também agradecemos a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vierira da Cunha, pelo apoio nas pesquisas que corroboraram com a pesquisa realizada.

REFERÊNCIAS

- [1] MARINO, L. E. F. Gestão da Qualidade e gestão do conhecimento: fatores chave para a produtividade e competitividade empresarial. XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 de Novembro, 2006.
- [2] MARRIS, R. The Economics of Capital Utilisation. Cambridge University Press, 1964.
- [3] MOTTA, C.A.O. Verificação da adição de Cinza Leve no composto Ferro-Cobre-Grafite para fabricação de anéis de selos mecânicos pelo processo de metalurgia do pó convencional. Dissertação de Mestrado. UFRGS – 2014.
- [4] MARTA, L. P., Criatividade e Inovação na Atuação Profissional, Revista CRB-8 Digital, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 3-9, jul. 2008.
- [5] ESCOBAR, C.F.; LIGANTE ECOFRIENDLY À BASE DE BORRACHA NATURAL PARA O PROCESSO DE MOLDAGEM POR INJEÇÃO DE PÓ DE FERRO. 2017. 151f. Tese de Doutorado – UFRGS.
- [6] OLIVEIRA, A.M.; Moldes para Injeção de Pó Metálicos – Problemas e Soluções de Projetos. 2015. 5f.
- [7] CATTO, A.L.; Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI-RS. Processamento de polímeros termoplásticos reforçados com metais, na forma de pó metálico. 2014. 4f – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas.
- [8] SILVA, M.B.D.; Aspectos Gerais da Injeção de Pó de Ferro 2017. 45f – Trabalho de Conclusão de Curso (Engenheiro Mecânico) – Instituto Federal Sul-Riograndense.
- [9] ZAMPIERON, J.V.; Caracterização Física de Partículas e Reológica de um Sistema Heterogêneo Utilizado em Moldagem de Pó por Injeção a Baixa Pressão. 2001. 137f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, São Paulo.
- [10] JUNIOR, N.V.; Uso da Técnica de Liga de Pó de Master Alloy na Obtenção de Componentes em Aço 4140HC Via Processo de Moldagem de Pó por Injeção. 2007. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenheiro de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.
- [11] GUTIÉRREZ, J. G.; STRINGARI, G. B.; EMRI, I. (2012). Powder Injection Molding of Metal and Ceramic Parts, Some Critical Issues for Injection Molding, Dr. Jian Wang (Ed.), ISBN: 978-953-51-0297-7, 2012.
- [12] Sá, D.R.M.; Moldagem por Injeção de Componentes de Metal Duro. 2011. 87f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [13] ZORZI, J.E.; PEROTTONI, C.A.; JORNADA, J.A.H.; Moldagem por Injeção em Baixa Pressão de Peças Complexas de Cerâmicas Avançadas Produzidas com Pó Submicrométricos. 2004. 7f. UCS, Inmetro e UFRGS.
- [14] WERMUTH, D.P; MARTINS, V.; TAVARES, A.C.; BORBA, M.G.; SCHAEFFER, L.

Propriedades Físicas e Mecânicas de Amostras de Ferro Puro, Obtidas por Metalurgia do Pó Convencional e por Injeção. 2018. 11f – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais.

[15] Gedel Plásticos. Piracicaba, SP. 2010. [Online]. Disponível em: <<https://gedelplasticos.com.br>>. Acesso em: Junho 2019.