

MAPEAMENTO DO AVANÇO TECNOLÓGICO DA PRODUÇÃO DE PÓ METÁLICO PELA ANÁLISE DE INDICADORES DE PATENTE*

Luís Otávio Zaparoli Falsetti¹
Douglas Henrique Milanez²
Daniel Rodrigo Leiva³

Resumo

As manufaturas convencionais para obtenção de geometrias complexas envolvem a subtração de material, tal como a usinagem e a fresa, o que resulta em altos custos de fabricação e consumo energético. Neste sentido, a manufatura aditiva é uma tendência para a inovação em setores que exigem a prototipagem e a personalização da peça produzida, por exemplo, em implantes ortopédicos. Entretanto, é reportada a baixa disponibilidade de ligas na forma de pó metálico, sendo este desenvolvimento crucial para se controlar as propriedades mecânicas obtidas, bem como melhorar a biocompatibilidade das peças produzidas. Este trabalho utilizou documentos de patente, cuja coleção contém informações ricas sobre o estado da técnica atual, para gerar indicadores do desenvolvimento de processos de produção do pó metálico, e redes que associam os tipos de ligas, ferrosas e não-ferrosas, com estes processos. Desta forma, foi possível identificar as rotas de obtenção do pó de maior interesse, além de relacionar as ligas metálicas com a escolha do processo de produção.

Palavras-chave: Impressão 3D; Metalurgia do Pó; Indicadores Tecnológicos.

MAPPING OF TECHNOLOGICAL ADVANCE OF METALLIC POWDER'S PRODUCTION THROUGH THE ANALYSIS OF PATENT INDICATORS

Abstract

The conventional processes for obtaining complex geometries uses the subtraction of material, such as machining or milling cutter, what requires great costs of fabrication and energy consumption. Thus, the additive manufacturing is a trend for the innovation in sectors that requires the prototyping and customization of the produced part, for example, in orthopedic implants. However, the limited variety of alloys in metallic powder form is reported, whose development is substantial to control the achieved mechanical properties, as well as to improve the biocompatibility of the produced parts. This work used patent documents, which collection holds some rich information about the current state of the technique, to generate indicators about the development of the powder's production processes, and networks that are able to associate the metallic alloys, ferrous or non-ferrous, with these processes. On this way, it was possible to identify trends in the powder's production routes, and also to select the processes of production based on the metallic alloys.

Keywords: 3D Impression; Powder Metallurgy; Technological Indicators.

¹ Graduando em Engenharia de Materiais, Estudante, Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, São Paulo, Brasil.

² Engenheiro de Materiais, Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, Pesquisador, Núcleo de Informação Tecnológica em Materiais (NIT/Materiais), DEMa, UFSCar, São Carlos, São Paulo, Brasil.

³ *Engenheiro de Materiais, Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, Professor, NIT/Materiais, DEMa, UFSCar, São Carlos, São Paulo, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva, ou impressão 3D, abrange os processos nos quais uma peça é construída camada a camada, até que se obtenha a geometria tridimensional com o material desejado. Esta rota de manufatura é considerada uma força motriz para a Indústria 4.0, enfrentando quatro principais barreiras de desenvolvimento tecnológico: tempo demandado para a construção do modelo 3D, limitada variedade de materiais, relativa baixa precisão e baixa produtividade. [1]

Para metais, a vertente comercial desta manufatura com alta velocidade de feixe, envolve a fusão ou sinterização da liga metálica aplicada na forma de pó metálico [2]. A diversidade e a qualidade da matéria-prima influenciam diretamente no desempenho da peça produzida. É limitado número de ligas metálicas em pó para a utilização em manufatura aditiva. Como exemplo, há os aços inoxidáveis, as superligas de Ni e Cu, as ligas Ti-6Al-4V e Al-Si-10Mg [2,3]. Um gargalo tecnológico de tais ligas é a limitada biocompatibilidade destas para aplicações na área de próteses e implantes, por exemplo [4,5].

As rotas de obtenção do pó metálico podem ser divididas principalmente em físicas e químicas, que incluem os seguintes processos gerais [6]:

- Atomização: é a ruptura do metal na forma líquida em gotas, com subsequente solidificação em pó com tamanho de partícula menores que 150 μm , tipicamente. São processadas ligas de Al e Ti, latão, superligas, e aços baixa liga e inoxidáveis;
- Moagem: processo de larga utilização, parte do metal na forma sólida e, aplicando forças de impacto, atrito, cisalhamento e compressão através de ferramentas, induz fraturas que resultam em pó metálico. Devido à natureza da operação, pode induzir transformações polimórficas no metal, por exemplo, nos aços inoxidáveis;
- Redução: o metal é obtido a partir, por exemplo, de seu respectivo óxido. Neste caso, uma característica do processo é a presença de poros, denominando um pó esponjoso. Metais comercialmente obtidos por esta rota são Fe, Cu, W, e Mo, além de Ni e Co.

O acompanhamento dos avanços tecnológicos dos métodos de produção de pó metálico pode ser feito por meio de indicadores tecnológico elaborados com base nos documentos de patente [7-9]. A patente é um título de propriedade sobre invenção ou modelo de utilidade, no qual o inventor ou detentor possui o direito de impedir terceiros de comercializar produtos e/ou processos patenteados por esta. O inventor, autor ou detentor adquire o direito de exploração temporário em troca do detalhamento técnico da matéria, cuja descrição encontra-se no documento de patente [10]. O documento de patente, decorrente do pedido de patente, possui uma riqueza de informações sobre a invenção ou modelo de utilidade, dispostos de forma padronizada, em campos que permitem análises estatísticas das informações nelas contida. Estas informações podem ser separadas em três grandes grupos [11]:

- Descrição técnica da invenção;
- Desenvolvimento e propriedade da invenção;
- Histórico de depósito.

Para elaboração dos indicadores de patentes, os dados bibliográficos são recorrentemente utilizados pelo fato de conterem informações estratégicas sobre o depositante, país do primeiro depósito, códigos da Classificação Internacional de

Patentes (CIP)¹, entre outras. Tais informações quando compiladas utilizando métodos quantitativos permitem o estabelecimento de indicadores que apontam tendências de desenvolvimento, o que permite o monitoramento tecnológico do assunto em questão.

Dado a escassez de estudos voltados para o monitoramento tecnológico de pós metálicos para manufatura aditiva, o objetivo deste trabalho é mapear o avanço tecnológico neste assunto por meio de indicadores de patentes. O estudo foi dividido em duas partes. Na primeira, é apresentado um panorama da evolução do patenteamento dentro da área de metalurgia do pó em geral. Num segundo momento, limitou-se às patentes voltadas para produção do pó, sendo verificada a evolução do número anual de patentes por rota de obtenção e mapeada as principais ligas metálicas para cada rota.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Procedimento para recuperação da informação e elaboração dos indicadores

Os indicadores tecnológicos foram elaborados com base nos dados bibliográficos de documentos de patente indexados na base Derwent Innovations Index, da empresa Clarivate Analytics e disponível para acesso por meio do Portal de Periódicos Capes. Tal base foi selecionada por possuir um conjunto de mais de 11 milhões de registros bibliográficos de documentos de patente depositados e/ou concedidos em mais de 40 escritórios nacionais e regionais do mundo, com cobertura exaustiva desde 1966 [12]. A base tem a vantagem de agrupar os registros por meio de famílias de patente², o que permite a análise evitando duplicatas na contagem. A recuperação da informação sobre metalurgia do pó em geral foi efetuada pela aplicação dos códigos CIP, conforme mostrado na Figura 1. Os significados dos códigos são os seguintes [13]:

- B22F: trabalho mecânico com pó metálico; fabricação de artigos a partir de pó metálico; fabricação de pó metálico; aparelhos ou dispositivos especialmente adaptados para pó metálico
- C22C-001/04: Fabricação de ligas não ferrosas pela metalurgia do pó
- C22C-033/02: Fabricação de ligas ferrosas pela técnica da metalurgia do pó

Foi feita a limitação para as patentes com prioridade de depósito no período de 2001 a 2015 (filtro 1). O segundo filtro limitou para tecnologias que envolvessem ligas metálicas (C22C). O Filtro 3 envolveu a limitação para patentes com tecnologias para produção do pó metálico (B22F-009).

Após a coleta e armazenamento, os registros bibliográficos foram tratados pelo software Earliest Priority Selector [14], que seleciona a prioridade mais antiga do pedido patente a fim de seguir recomendações internacionais de elaboração de indicadores de patente [11]. Em seguida, os dados foram importados no software Vantage Point (v. 7.0) que auxiliou no tratamento das informações e na elaboração de indicadores. Foram importados dos registros os códigos da CIP e os anos da

¹Classificação Internacional de Patentes (CIP) é um sistema hierárquico criado a partir do Acordo de Estrasburgo, em 1974, dividida em 8 principais sessões, contendo aproximadamente 70.000 subdivisões. Atualmente, é mantida pela Organização Mundial de Propriedade Intelectual (WIPO, na sigla em inglês) [15].

² Uma família de patentes refere-se ao conjunto de patentes sobre uma mesma invenção depositados em mais de um país.

prioridade mais antiga de cada registros. A visualização dos indicadores foi realizada com auxílio dos softwares MS Excel (v. 2016) e VOSviewer (v. 1.6.7)

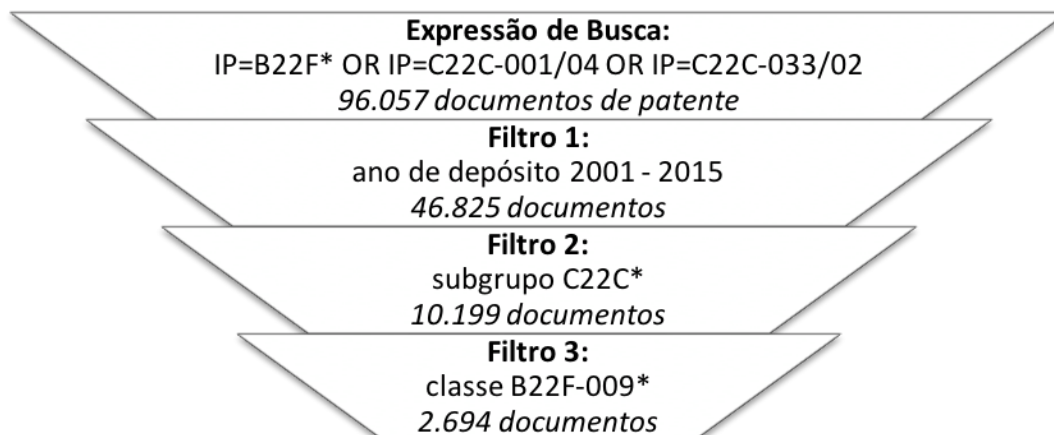
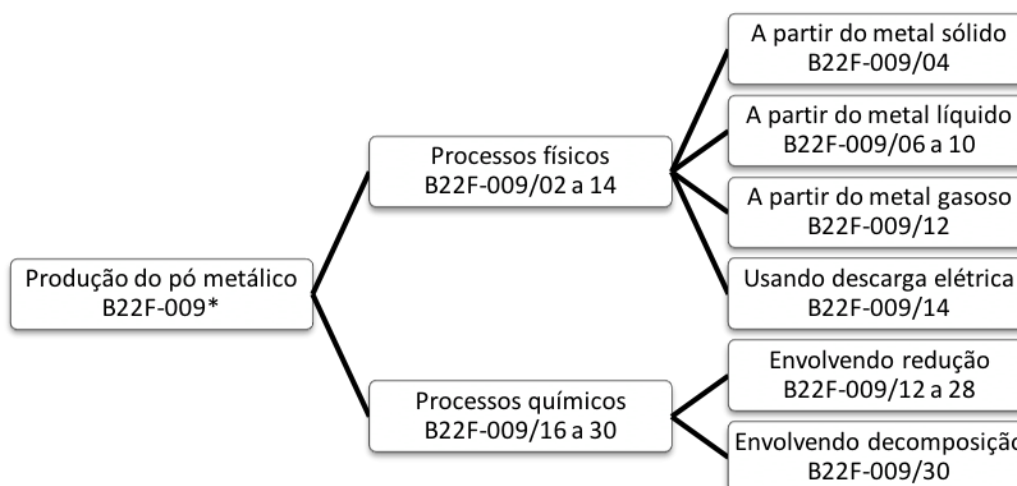


Figura 1. Etapas e filtragem para recuperação da informação.

2.2 Detalhamentos do tratamento da informação

Para a elaboração do panorama de patenteamento em metalurgia do pó em geral, foram considerados o percentual de patentes nos grupos hierárquicos da classe B22F (ou seja, B22F-001, B22F-003, B22F-005, B22F-007, B22F-008 e B22F-009) utilizando-se os dados recuperados no filtro 2. Foi elaborado também um gráfico com a evolução anual do número de patentes para cada grupo.

No caso das patentes voltadas para produção do pó metálico, utilizou-se os dados resultantes do filtro 3. Foi feita o agrupamento de códigos CIP em nível de subclasse para separar as rotas de produção do pó, conforme o agrupamento mostrado na Figura 2 separados em processos físicos e químicos.



Fonte: WIPO.

Figura 2. Agrupamento utilizado para a separação dos processos de produção do pó metálico

O código da CIP para diferenciação de ligas metálicas apresenta a limitação de definir ligas metálicas conforme os elementos que a constituem, e não pelas nomenclaturas usuais que a Engenharia utiliza, por exemplo, aços inoxidáveis, superligas de Ni, entre outras. No caso das ligas metálicas, foi feito o agrupamento dos códigos CIP em nível subclasse conforme mostrado na Tabela 1. O código da

CIP permite, ainda, a diferenciação de ligas aqui denominadas especiais, que seriam aquelas com estruturas amorfas, ou seja, os átomos não estão organizados com ordenamento de longo alcance, e ligas sem elemento majoritário, contendo elementos específicos.

Tabela 1. Agrupamento utilizado para a separação das ligas metálicas.

Grupo	Liga	Código da CIP
Ligas Ferrosas	Ferro Fundido	C22C-037/00 a 10
	Ligas de Fe-Si	C22C-038/02
	Ligas de Fe-Mn	C22C-038/04
	Ligas de Fe-Al	C22C-038/06
	Ligas de Fe-Ni	C22C-038/08
	Ligas de Fe-Co	C22C-038/10
	Ligas de Fe-W/Mo/V/Nb	C22C-038/12
	Ligas de Fe-Ti/Zr	C22C-038/14
	Ligas de Fe-Cu	C22C-038/16
	Ligas de Fe-Cr	C22C-038/18 a 38
	Ligas de Fe-Cr-Ni	C22C-038/40 a 58
	Ligas de Fe-Pb/Se/Te/Sb/S	C22C-038/60
	Ligas Não-Ferrosas	Ligas de metais nobres
Ligas de Cu		C22C-009*
Ligas de Sb/Bi		C22C-012*
Ligas de Sn		C22C-013*
Ligas de Ti		C22C-014*
Ligas de Ni/Co		C22C-019*
Ligas de Al		C22C-021*
Ligas de Mg		C22C-023*
Ligas de outros metais refratários		C22C-027*
Ligas de outros metais não ferrosos		C22C-028*
Ligas Especiais	Ligas sem elemento majoritário (Cu)	C22C-030/02
	Ligas sem elemento majoritário (Sn/Pb)	C22C-030/04
	Ligas sem elemento majoritário (Zn)	C22C-030/06
	Ligas amorfas de Fe	C22C-045/02
	Ligas amorfas de Ni/Co	C22C-045/04
	Ligas amorfas de Be	C22C-045/06
	Ligas amorfas de Al	C22C-045/08
	Ligas amorfas de Mo/W/Nb/Ta/Ti/Zr	C22C-045/10

Fonte: WIPO.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Evolução do patenteamento na metalurgia do pó

Os documentos de patente voltados à manufatura por compactação e/ou sinterização (incluindo equipamentos e aparatos) representam a maior abrangência sobre o total de registros analisados, seguido pelo tratamento especial do pó para facilitar seu trabalho ou melhorar suas propriedades para o processamento. Os processos de produção do pó metálico (e equipamentos envolvidos) acumularam o terceiro maior número de documentos de patente, porém as tecnologias envolvendo

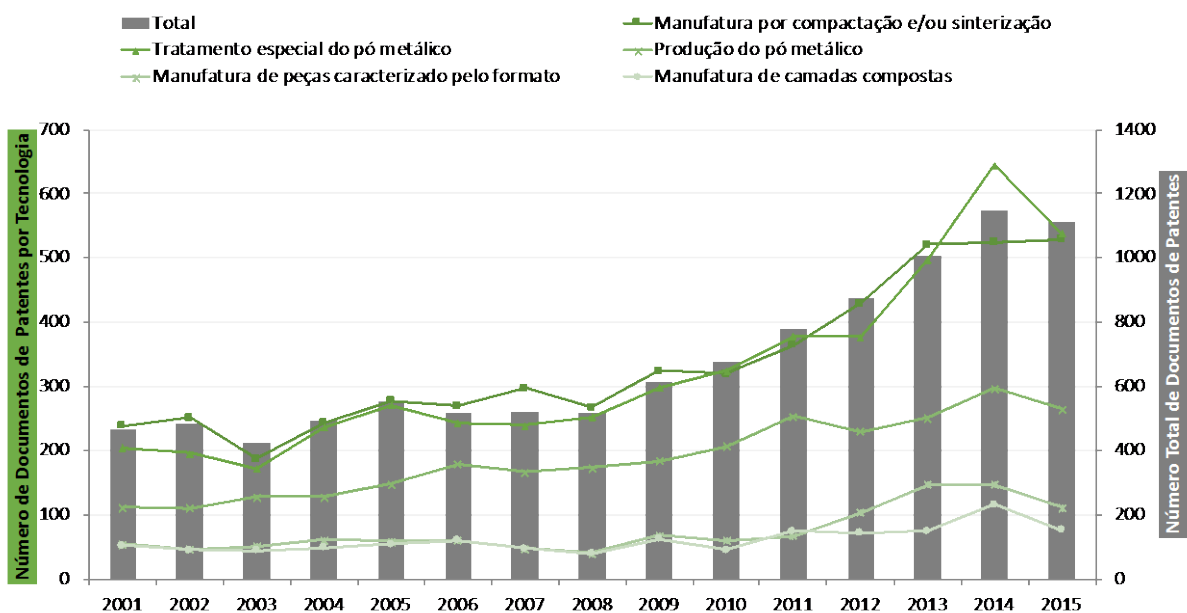
o patenteamento em metalurgia do pó apresentam distribuição praticamente constante ao longo dos anos, com valores próximos à abrangência de cada uma no período. Consequentemente, pode-se afirmar que, como o aumento no patenteamento não é justificado por tecnologias específicas, houve o desenvolvimento da grande área envolvendo trabalho do pó metálico. As tecnologias que os códigos da CIP permitem diferenciar estão apresentadas na Tabela 2, com destaque para a representatividade do patenteamento de tecnologias envolvendo manufatura de artigos a partir de sucata ou refugo. Como um pedido de patente pode ser classificado com vários códigos da CIP, a soma percentual das abrangências tende a ser superior a 100%, como pode ser facilmente constatado.

Tabela 2. Classes do CIP envolvendo as tecnologias do pó metálico.

Classe CIP	Descrição	Abrangência
B22F-001	Tratamento especial do pó metálico	47,9%
B22F-003	Manufatura por compactação e/ou sinterização	49,5%
B22F-005	Manufatura de peças caracterizadas pelo formato	11,1%
B22F-007	Manufatura de camadas compostas	9,0%
B22F-008	Manufatura de artigos de sucata ou refugo	0,2%
B22F-009	Produção de pó metálico	27,8%

Fonte: WIPO.

O patenteamento em metalurgia do pó ao longo dos anos apresentou considerável aumento, principalmente entre os anos de 2009 a 2014, em que a taxa média de crescimento atingiu o valor de 14,1%, frente à média do período todo de 6,8%, e aos 2,0% de crescimento do período entre 2001 a 2008. Já no ano de 2015, houve uma redução de 3% no número de documentos de patente depositados em relação ao ano anterior. Uma hipótese para a queda é que o desenvolvimento tecnológico envolvendo a Metalurgia do Pó tenha atingido um ciclo, porém, indicadores de 2016 e 2017 são necessários para confirmar essa eventual tendência. Além disso, há o período de sigilo dos pedidos de patente, que varia conforme a legislação de cada país [11], logo a queda pode não ser efetiva. Os dados estão apresentados na Figura 3.



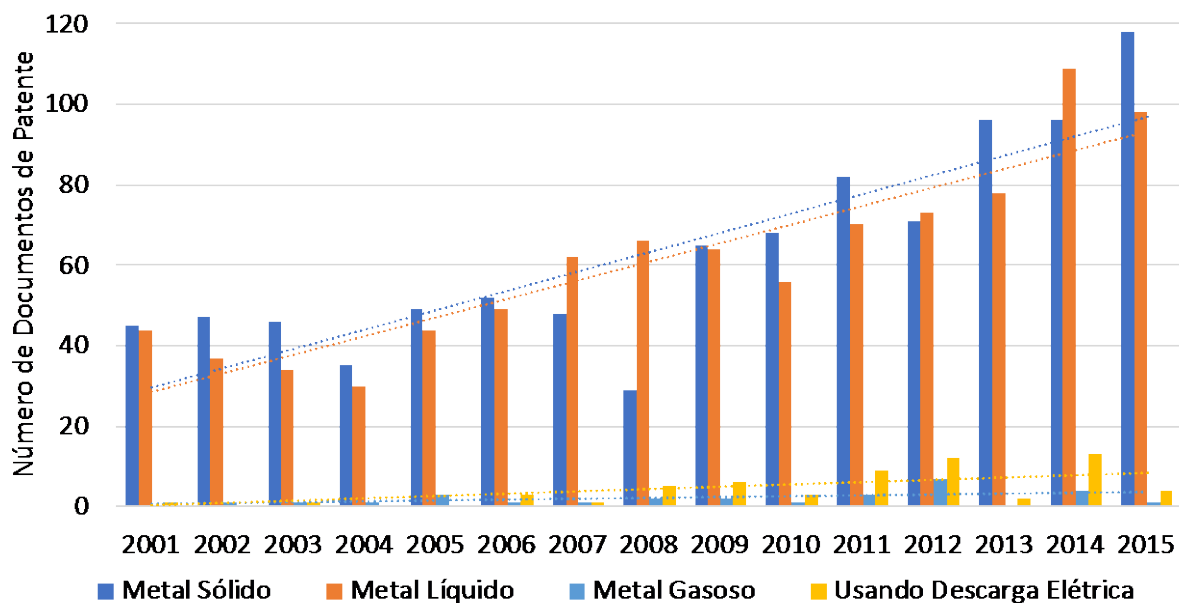
Fonte: Derwert Innovations Index.

Figura 3. Evolução do patenteamento conforme as tecnologias da metalurgia do pó.

3.2 Produção do pó metálico e ligas de interesse

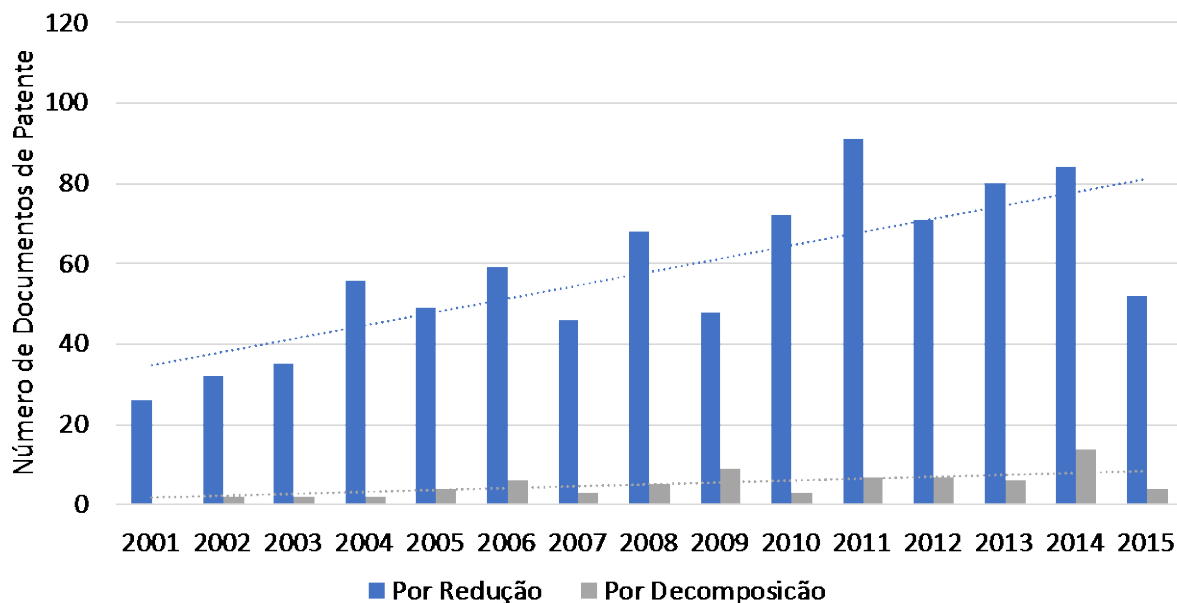
Embora o patenteamento no período seja superior para as rotas físicas de produção do pó metálico, sua taxa média de crescimento de 8,3% é comparável aos 8,2% de crescimento no das rotas químicas, demonstrando que tecnologias envolvendo ambas as rotas estão em pleno desenvolvimento. Para as rotas físicas, a obtenção do pó metálico a partir do metal sólido, com taxa média de crescimento de 12%, e do metal líquido, 8% de crescimento, são os processos que apresentam maior interesse no desenvolvimento tecnológico, conforme a Figura 4. Por outro lado, processos a partir do metal gasoso e usando descarga elétrica tiveram patenteamento descontínuo, com um baixo números de documentos. Esse fato sugere que estes últimos possuem menor interesse, provavelmente devido ao gasto energético necessário para levar o metal a seu estado gasoso ou ao menor volume de pó produzido.

Quanto às rotas químicas de produção de pó metálico, o código da CIP permite distinguir apenas entre processos que utilizam a redução ou a decomposição de espécies químicas para a obtenção do mesmo. Conforme a Figura 5, é possível notar que o patenteamento é superior para a produção envolvendo a redução.



Fonte: Derwert Innovations Index.

Figura 4. Evolução do patenteamento na produção do pó metálico por processos físicos.



Fonte: Derwert Innovations Index.

Figura 5. Evolução do patenteamento na produção do pó metálico por processos químicos.

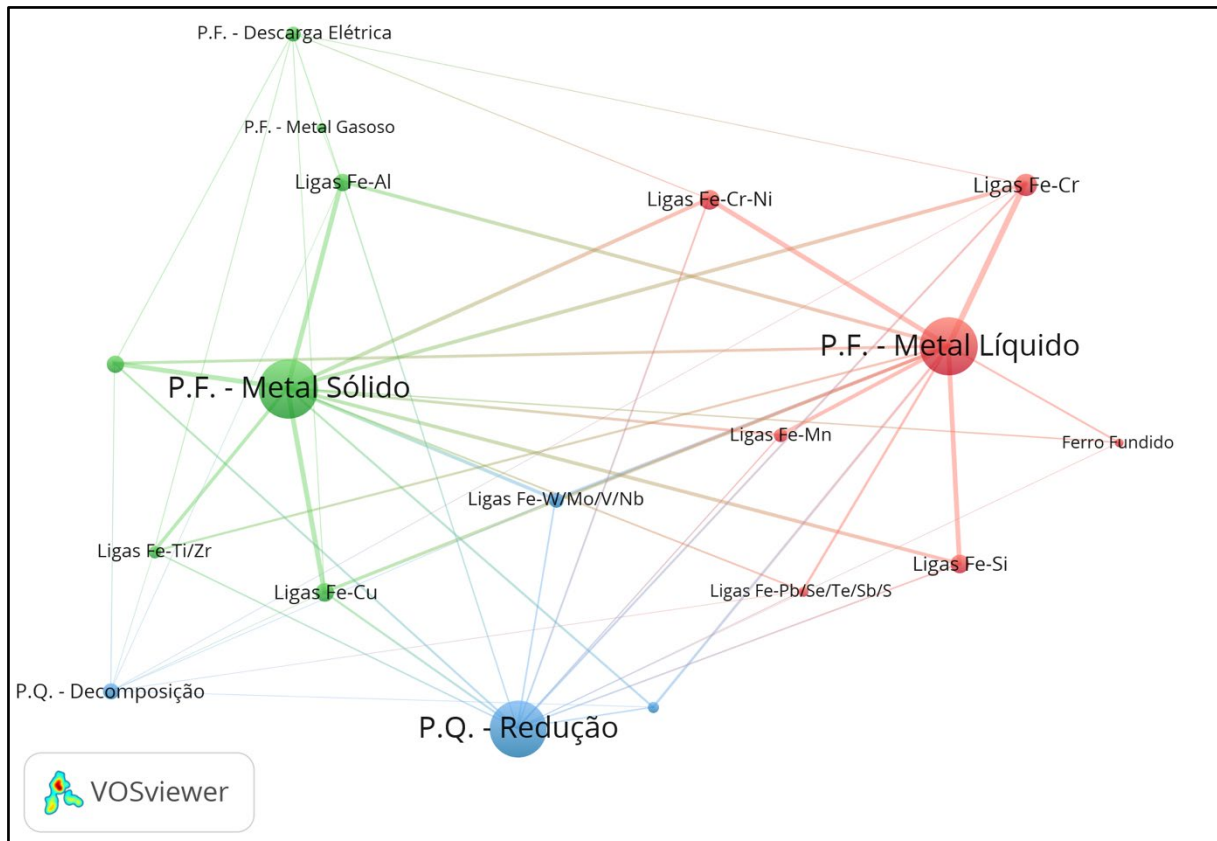
Ligas ferrosas contendo Cr, Cr-Ni, Mn ou Si, além dos ferros fundidos apresentam maior patenteamento relacionado a rotas físicas a partir do metal líquido, conforme a Figura 6, o que é esperado, devido à menor tendência de oxidação destas ligas em relação às demais. Ainda que processos como o de atomização favoreçam a reação, consequência da elevada área de superfície das gotas em alta temperatura com a atmosfera utilizada, o pó metálico produzido apresenta interesse tecnológico.

A rota física a partir do metal sólido está associada com as ligas ferrosas contendo elementos como Al, Co, Ti, Zr ou Cu. Como este processo envolve o impacto mecânico entre a ferramenta utilizada e a liga a ser fraturada em pó, é interessante que as ligas produzidas por este processo apresentem baixa tenacidade, de forma a reduzir o gasto energético demandado. É interessante notar que a liga ferrosa contendo Ni apresenta desenvolvimento tecnológico associado à rota química envolvendo a redução.

Dentro das ligas não-ferrosas, as refratárias exibem alto ponto de fusão, além de elevada resistência mecânica, portanto, sua produção é tipicamente realizada envolvendo processos químicos de redução. Pela Figura 7, podemos notar que as ligas de metais nobres também possuem forte associação com esta rota de produção.

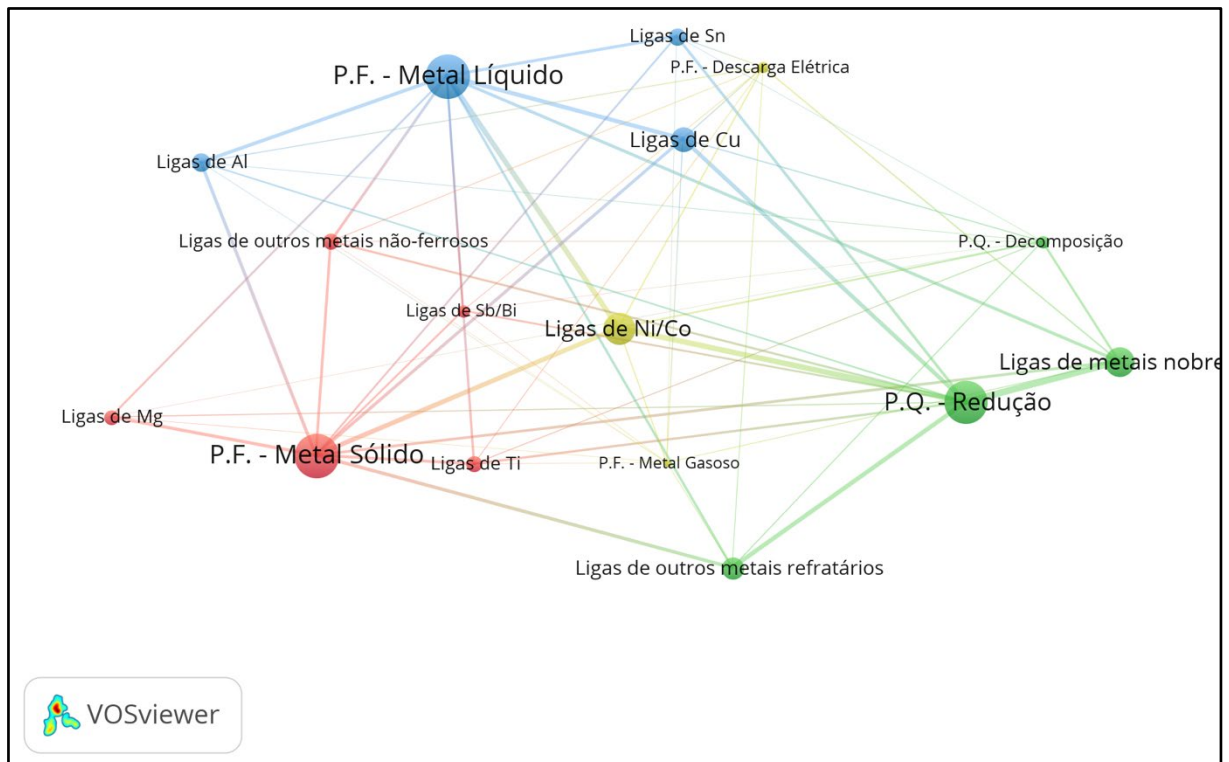
A produção de ligas com alta tendência a oxidação, como de Mg e Ti, estão associadas a processos físicos a partir do metal sólido. Por outro lado, as ligas de Al que também exibem tal característica, possuem maior relação com os processos a partir do metal líquido, o que pode ser explicado pela alta tenacidade destas, o que inviabilizaria sua produção utilizando moagem, por exemplo.

As ligas de Ni e Co se situam em posição central à rede da Figura 7, o que indica que o desenvolvimento desta está associado com mais de uma rota de produção.



Fonte: Derwert Innovations Index.

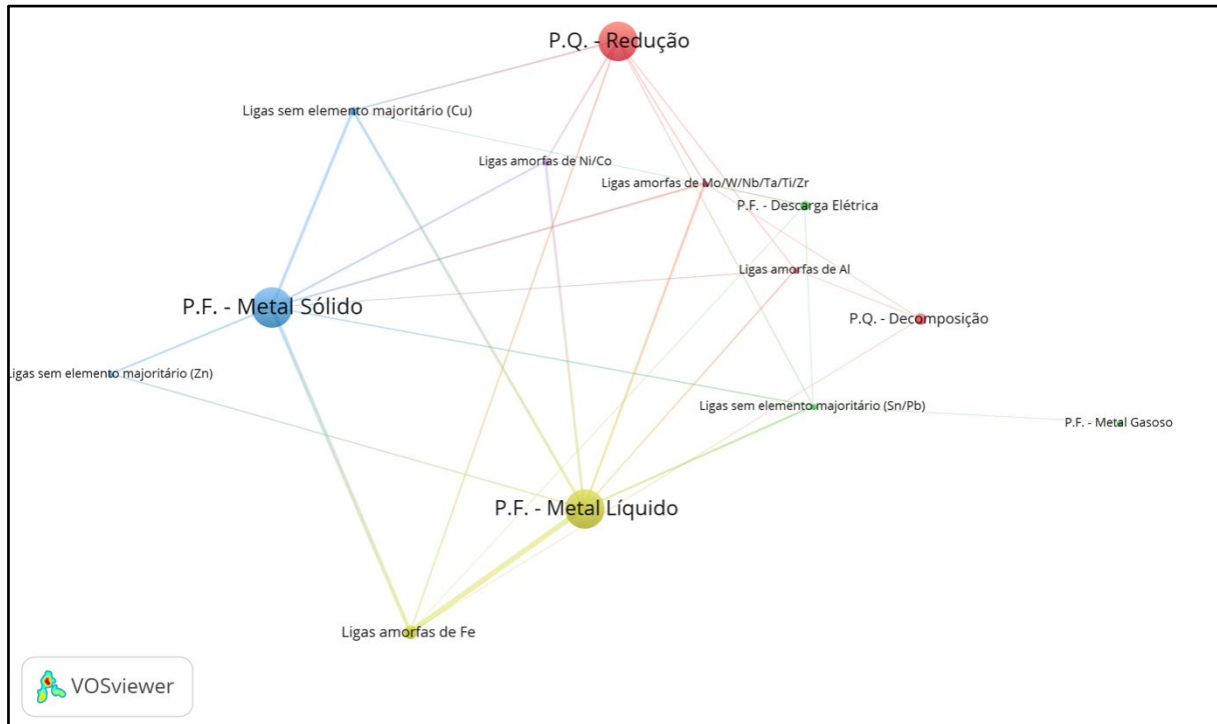
Figura 6. Rede entre processos de produção do pó metálico e ligas ferrosas.



Fonte: Derwert Innovations Index.

Figura 7. Rede entre processos de produção do pó metálico e ligas não-ferrosas.

Para as ligas amorfas ferrosas, nota-se pela Figura 8 uma preferência pelo processo físico a partir do metal líquido, uma vez que um dos requisitos para a produção destas ligas é a alta taxa de resfriamento aplicada. Através de uma rápida leitura de alguns documentos de patente, foi possível notar possíveis equívocos na classificação das ligas sem elemento majoritário, apesar disto, estas ligas estão mais associadas com rotas físicas a partir do metal sólido.



Fonte: Derwert Innovations Index.

Figura 8. Rede entre processos de produção do pó metálico e ligas especiais.

4 CONCLUSÃO

Através de indicadores de documento de patente, foi possível mapear o avanço tecnológico na produção de pós metálicos, obtendo dados de evolução temporal dos diferentes tipos de rotas, além da análise em redes de processos de produção com ligas ferrosas, não ferrosas, e especiais.

Pode-se observar que o patenteamento está concentrado em três principais rotas de produção, sendo duas físicas – a partir do metal sólido (moagem, p. ex.) e do metal líquido (atomização, p. ex.) -, e a outra química, envolvendo etapas de redução, com taxas médias de 10% de crescimento no número de patentes depositadas por ano.

Para a associação entre ligas e processos de produção, é notável como as propriedades de ponto de fusão, tenacidade e potencial de oxidação das ligas influenciam diretamente na escolha do processo de obtenção de seu pó metálico. É possível notar que as informações da análise por indicadores de documentos de patente constituem uma base sólida para a prospecção tecnológica.

A utilização dos códigos da CIP para obter indicadores do avanço tecnológico em produção do pó metálico se mostrou com uma ferramenta de resposta relativamente eficiente, pela disponibilidade desta informação indexada, e confiável, uma vez que a atribuição é realizada por uma equipe técnica competente. Em alguns casos, porém, a descrição do código não foi suficiente para determinar com precisão o processo de obtenção do pó metálico utilizado, ou mesmo as diferentes famílias de

liga que, em alguns casos, não são definidas apenas pela presença ou não dos elementos químicos constituintes, mas pela sua composição em peso, e histórico térmico. Entretanto, as tendências apresentadas neste estudo podem dar suporte a tomada de decisão no planejamento estratégico e de pesquisa e desenvolvimento de empresas e instituições de pesquisa.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP (processo número: 2015/18878-8) pelo fomento da pesquisa de um dos coautores e ao Núcleo de Informação Tecnológica em Materiais (NIT/Materiais) pela estrutura para desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Chen T, Yu-Cheng L. Feasibility Evaluation and Optimization of a Smart Manufacturing System Based on 3D Printing: A Review. *International Journal of Intelligent Systems*. 2017;32:394-413.
- 2 Lewandowski JJ, Seifi M. Metal Additive Manufacturing: A Review of Mechanical Properties. *Annual Review of Materials Research*. 2016;46:151-186.
- 3 Murr LE, Gaytan SM, Ramirez DA, Martinez E, Hernandez J, Amato KN, et al. Metal Fabrication by Additive Manufacturing Using Laser and Electron Beam Melting Technologies. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2012;28(1):1-14.
- 4 Sing SL, An J, Yeong WY, Wiria FE. Laser and Electron-Beam Powder-Bed Additive Manufacturing of Metallic Implants: A Review on Processes, Materials and Designs. *Journal of Orthopaedic Research*. 2016;march:369-385
- 5 Wang X, Xu S, Zhou S, Xu W, Leary M, Choong P, et al. Topological design and additive manufacturing of porous metals for bone scaffolds and orthopaedic implants: A review. *Biomaterials*. 2016;83:127-141.
- 6 prepared under the direction of the ASM International Handbook Committee. *ASM Handbook. Volume 7, Powder Metal Technologies and Applications*. Ohio: ASM International, 1989.
- 7 Martino JP. A review of selected recent advances in technological forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*. 2013;70(8):719-733.
- 8 Moguee, M. E. Patents and Technology Intelligence. In: Ashton WB, Klavans RA (Eds.) *Keeping abreast of science and technology: technical intelligence for business*. Columbus: Battelle Press, 1997.
- 9 Milanez DH, de Faria LIL, Amaral RM, Leiva DR, Gregolin JAR. Patents in nanotechnology: an analysis using macro-indicators and forecasting curves. *Scientometrics*. 2014;101(2):1097-1112.
- 10 INPI. Instituto Nacional da Propriedade Intelectual [página da internet]. [acesso em 10 mai. 2018]. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br>.
- 11 OECD. OECD Patent Statistics Manual [página da internet]. 2009 [acesso em 10 mai. 2010]. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264065574-en>.
- 12 MEC. Portal de Periódicos da CAPES [página da internet]. [acesso em 10 mai. 2018]. Disponível em <http://www.periodicos.capes.gov.br>.
- 13 INPI. Publicação IPC [página da internet]. [acesso em 07 jun. 2018]. Disponível em: <http://ipc.inpi.gov.br/>.
- 14 Milanez DH, Milanez MG, de Faria LIL, do Amaral RM, Gregolin JAR. The Earliest Priority Selector for compiling patent indicators. In: *Proceedings of 14th International Society of Scientometrics and Informetrics Conference*. Vienna: AIT; 2013: 1877-80.
- 15 WIPO. World Intellectual Property Organization [página da internet]. [acesso em 10 mai. 2018]. Disponível em: <http://www.wipo.int>.