CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

IMPRESSÃO 3D: PROSPECÇÃO DE TECNOLOGIA COM ANÁLISES DE REDES SOCIAIS

João Carlos da Silva Freitas

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador:

Rafael Garcia Barbastefano

Rio de Janeiro
Abril de 2016

IMPRESSÃO 3D: PROSPECÇÃO DE TECNOLOGIA COM ANÁLISES DE REDES SOCIAIS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

João Carlos da Silva Freitas

Aprovada por:

_____

Presidente, Prof. Rafael Garcia Barbastefano, D.Sc. (Orientador)

_____

Profª. Cristina Gomes de Souza, D.Sc.

_____

Prof. Diego Moreira de Araújo Carvalho, D.Sc.

_____

Prof. Leonardo Silva de Lima, D.Sc.

_____

Prof. Felipe Maia Galvão França, Ph.D. – UFRJ

Rio de Janeiro
Abril de 2016

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

S586 Freitas, João Carlos da Silva
Impressão 3D : prospecção de tecnologia com análises de redes sociais / João Carlos da Silva Freitas.—2016.
xi, 86f. : il. (algumas color.) , grafs. , tabs. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2016.
Bibliografia : f. 83-86
Orientador : Rafael Garcia Barbastefano

1. Impressão digital (Computação). 2. Patentes. 3. Redes sociais. 4. Invenções tecnológicas. 5. Engenharia de produção. I. Barbastefano, Rafael Garcia (Orient.). II. Título.

CDD 686.2

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais, Carlos Bazílio e Maria Lúcia, pelo apoio incondicional que sempre me deram e pela confiança inabalável em minha capacidade e competência. Seu apoio e seu árduo esforço em me propiciarem uma educação valorosa foram primordiais para eu ter chegado a esse ponto. Pai, sei que me observa saudoso aí de cima, espero que se orgulhe de mim como me orgulho do senhor.

Agradeço também ao meu orientador, Rafael Barbastefano, por ter me convidado a voltar a estudar após tantos anos em que trabalhamos juntos na UFRJ e na FGV. Foi meu primeiro chefe, meu primeiro orientador e, tenho certeza, amigo para vida toda.

Não posso deixar de agradecer aos meus demais professores no CEFET: Leonardo, Cristina, Diego, Alexandre e Eduardo Ogasawara. Agradeço a todos pela orientação, ensinamentos, gentileza, cordialidade, enfim, tudo que um aluno pode agradecer a ótimos e dedicados professores.

Agradeço também a outros professores fundamentais em minha vida. Foram tantos, mas não posso deixar de citar Ledo Vaccaro, ainda no Liceu Franco-Brasileiro, e Luiz Carlos Guimarães, na matemática da UFRJ. Pessoas sensacionais, exemplos de professores e pessoas. Muito obrigado.

Por fim, agradeço às duas companhias principais que a vida me deu. À minha irmã, Luciana, que me acompanha e apoia sempre, e à minha amada esposa Andréa, a quem agradeço por tudo e, em especial, por suportar um mestrando fazendo sua dissertação e seus maus humores decorrentes. Meus amores, muito, muito obrigado.

A todos que contribuíram para esse grande objetivo alcançado, mesmo que não listados acima, muito obrigado.

RESUMO

IMPRESSÃO 3D: PROSPECÇÃO DE TECNOLOGIA COM ANÁLISES DE REDES SOCIAIS

João Carlos da Silva Freitas

Orientador:

Rafael Garcia Barbastefano

Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

A impressão 3D é uma técnica moderna de produção de objetos, e seu uso está em ascensão na indústria e entre usuários residenciais. A tecnologia pode acarretar mudanças no mercado e nos processos produtivos, ao permitir fabricação descentralizada de produtos, que também podem ser mais bem customizados. Essa dissertação tem por objetivos: fazer uma prospecção tecnológica sobre os processos de impressão 3D; avaliar as empresas que participam do mercado de impressão 3D; e demonstrar a aplicação de um conjunto de técnicas para a realização do estudo. O trabalho se baseou em análise de dados de patentes e no uso de técnicas de redes sociais, montadas a partir dos dados das patentes. Os resultados mostram que a tecnologia se encontra em expansão, segundo dois modelos distintos de avaliação de estágios de tecnologia, e que a tecnologia tende a tornar os equipamentos mais robustos, capazes de trabalhar com mais materiais, incluindo metais, e com melhor qualidade e acabamento nos objetos produzidos. O estudo indica também que a empresa 3D Systems tende a manter a liderança do mercado. Por fim, os resultados obtidos mostram que as técnicas usadas foram adequadas, mas, mesmo assim, ainda há espaço para melhoria da metodologia.

Palavras-chave:

Impressão 3D; Redes Sociais; Prospecção Tecnológica

Rio de Janeiro
Abril de 2016

ABSTRACT

3D PRINTING: TECHNOLOGY FORECASTING WITH SOCIAL NETWORK ANALYSIS

João Carlos da Silva Freitas

Advisor(s):

Rafael Garcia Barbastefano

Abstract of dissertation submitted to Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Production Engineering.

3D printing is a modern technology to product objects and its usage is growing in industry and among home users. The technology may create severe changes in the market and in productive processes by allowing decentralized manufacturing of products, which can also be better customized. This dissertation has a few objectives: make a technological forecasting of 3D printing processes; evaluate the companies that are key players on the 3D printing market; present a group of techniques that were applied on this work. The study was based on patent data analysis and on techniques of social networks, which were constructed on the patent data. Results showed that the technology is expanding, according to two distinct models of technology state evaluation, and that the technology tends to make more robust equipments able to work with many materials, including metals, and with better quality and finishing on the created parts. The study also indicates that the company 3D Systems will probably be the market leader for the near future. Lastly, results indicate that the used techniques were adequate, however there is still room for improve the methodology.

Keywords:

3D Printing; Social Networks; Technology Forecasting

Rio de Janeiro
April 2016

Sumário

Capítulo I - Introdução 1

I.1 Objetivos e Justificativa 4

I.2 Metodologia 5

I.3 Estrutura do Trabalho 5

Capítulo II - Impressão 3D 7

II.1 Prototipagem Rápida e Manufatura Aditiva 7

II.1.1 Definição, histórico e a situação atual do mercado 7

II.1.2 Tecnologias 11

Capítulo III - Redes Sociais 15

III.1 Análise de Redes Sociais 15

III.1.1 Principais conceitos e técnicas 15

III.1.2 Redes de coautoria 20

III.1.3 Redes de citação 21

Capítulo IV - Prospecção Tecnológica e Patentes 24

IV.1 Prospecção Tecnológica 24

IV.1.2 Técnicas de prospecção 27

IV.2 Patentes 29

Capítulo V - Metodologia 32

V.1 Bibliometria 32

V.2 Aquisição dos Dados 32

V.3 Pré-processamento e Montagem da Rede de Citação 34

V.4 Demais redes 39

Capítulo VI - Resultados 42

VI.1 Análises da Rede de Citação 42

VI.2 Rede de Citação com *Spillover* 58

VI.3 Rede de Citação entre Depositantes 67

VI.4 Análise de áreas dos códigos IPC 76

VI.5 Resumo das análises 78

Capítulo VII - Conclusões 80

Referências Bibliográficas 83

Lista de Figuras

Figura I.1 Buscas pelos termos “3d printing” e “additive manufacturing” no Google (base 100 = 2013) 1
Figura I.2 Montagem com capas de revistas 2
Figura I.3 *Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies* (adaptação) 3
Figura II.1 Linha do tempo da tecnologia de impressão 3D 8
Figura II.2 Quadro resumo de categorias e tecnologias de impressão 3D 14
Figura III.1 Rede de exemplo I, com destaque para vértices A e B 16
Figura III.2 Rede de exemplo II para cálculo de Caminho Principal 19
Figura III.3 Exemplo de rede de coautoria 21
Figura III.4 Exemplo de rede de citação 22
Figura III.5 *Spillover* tecnológico em função de autor em comum 23
Figura IV.1 Curva-S conceitual do ciclo de vida de uma tecnologia 24
Figura IV.2 Fases do modelo de Utterback e Abernathy 26
Figura IV.3 Desenvolvimento teórico da aplicação de patentes no ciclo de vida tecnológica 27
Figura IV.4 Exemplo de patente registrada no USPTO 31
Figura V.1 Exemplo de registro obtido após busca na base *Derwent* 33
Figura V.2 Fluxograma de pré-processamento e montagem das redes de citação 34
Figura V.3 Interface de uso da ferramenta *OpenRefine* 35
Figura V.4 Exemplos de ciclos removidos no pré-processamento 38
Figura V.5 Redução da quantidade de dados úteis para análise na rede de citação 38
Figura V.6 Extrato dos dados carregados em tabela para cômputo de *spillover* 39
Figura V.7 Consulta para gerar a relação de arcos de *spillover* 40
Figura V.8 Resultado da consulta para o extrato de dados demonstrado 40
Figura VI.1 Histórico de novas famílias de patentes de impressão 3D por ano 42
Figura VI.2 Modelo de crescimento logístico aplicado às patentes de impressão 3D 43
Figura VI.3 Rede de citação 44
Figura VI.4 Efeito da remoção de famílias de “*ink jet printing*” 48
Figura VI.5 Histórico de novas famílias de patentes de impressão 3D por ano 49
Figura VI.6 Histórico de novas famílias de patentes de impressão 3D por década 49
Figura VI.7 Modelo de crescimento logístico aplicado às patentes de impressão 3D 50
Figura VI.8 Rede de citação 51
Figura VI.9 Caminho Principal da rede de citação 54
Figura VI.10 Caminho Principal com método *key-route* global 56
Figura VI.11 Rede de citação com *spillover* 59
Figura VI.12 Caminho Principal da rede de citação com *spillover* 62

Figura VI.13 Caminho Principal *key-route* global da rede de citação com *spillover* 65
Figura VI.14 Top 20 depositantes contendo *ink jet printing* 68
Figura VI.15 Top 20 depositantes..... 68
Figura VI.16 Rede de citação entre depositantes 70

Lista de Tabelas

Tabela IV.1 Seções do código IPC 30
Tabela VI.1 Top 10 graus de *output* da rede de citação 44
Tabela VI.2 Top 10 classes dos códigos IPC 45
Tabela VI.3 Top 10 subclasses dos códigos IPC 45
Tabela VI.4 Top 10 graus de *output* da rede de citação 51
Tabela VI.5 Top 10 graus de *input* da rede de citação 52
Tabela VI.6 Top 10 domínios de *output* da rede de citação 52
Tabela VI.7 Top 10 de proximidade de prestígio da rede de citação 53
Tabela VI.8 Top 10 de centralidade de proximidade da rede de citação 53
Tabela VI.9 Top 10 de pesos transversais da rede de citação 54
Tabela VI.10 Top 10 graus de *output* da rede de citação com *spillover* 59
Tabela VI.11 Top 10 graus de *input* da rede de citação com *spillover* 60
Tabela VI.12 Top 10 domínios de *output* da rede de citação com *spillover* 60
Tabela VI.13 Top 10 de proximidade de prestígio da rede de citação com *spillover* 61
Tabela VI.14 Top 10 de centralidade de proximidade da rede de citação com *spillover* 61
Tabela VI.15 Top 10 de pesos transversais da rede de citação com *spillover* 62
Tabela VI.16 Top 10 graus de *output* na rede de citação entre depositantes 70
Tabela VI.17 Top 10 índice de utilidade por depositante 71
Tabela VI.18 Top 10 índice de utilidade por depositante relevante 71
Tabela VI.19 Top 10 graus de *input* na rede de citação entre depositantes 72
Tabela VI.20 Top 10 domínios de *output* da rede de citação entre depositantes 72
Tabela VI.21 Top 10 de proximidade de prestígio da rede de citação entre depositantes 73
Tabela VI.22 Top 10 de centralidade de proximidade da rede de citação entre depositantes 73
Tabela VI.23 Top 10 de centralidade de intermediação da rede de citação entre depositantes 74
Tabela VI.24 Distribuição dos valores dos arcos da rede de citação entre depositantes 74
Tabela VI.25 Arcos de maior valor entre empresas da rede de citação entre depositantes 75
Tabela VI.26 Evolução do uso das seções do código IPC 76
Tabela VI.27 Evolução do uso das classes do código IPC 76
Tabela VI.28 Evolução do uso das subclasses do código IPC 77

Capítulo I - Introdução

Este trabalho trata sobre manufatura aditiva e suas tecnologias, mais comumente conhecida como impressão 3D. Embora a impressão 3D seja considerada uma entre várias técnicas de manufatura aditiva por alguns autores, como Kruth, Leu e Nakagawa (1998), para o contexto deste trabalho, os dois termos serão utilizados de forma intercambiável, tamanha a notoriedade que o termo impressão 3D adquiriu no cotidiano.

Tal intercambialidade também é descrita pela ASTM International, anteriormente conhecida como *American Society for Testing Materials* (ASTM), ao definir o termo impressão 3D (2013). Segundo essa sociedade, a manufatura aditiva é um processo que unifica materiais em um objeto tridimensional modelado em um computador. Há diversas técnicas para se unificar os materiais, que podem ser dos mais diversos tipos e usados para os mais variados fins. O objetivo final é a criação de objetos que, muitas vezes, só poderiam ser acessíveis por processos tradicionais de fabricação industrial.

O gráfico abaixo mostra as buscas pelo termo “3d printing” em comparação ao termo “additive manufacturing” registradas no *Google Trends*[1], entre janeiro de 2008 e dezembro de 2015. Ela mostra o quanto o termo impressão 3D é mais usado que o termo técnico manufatura aditiva, bem como mostra o crescente interesse no assunto, com cerca de 15 vezes mais buscas em 2015, em comparação a 2008.

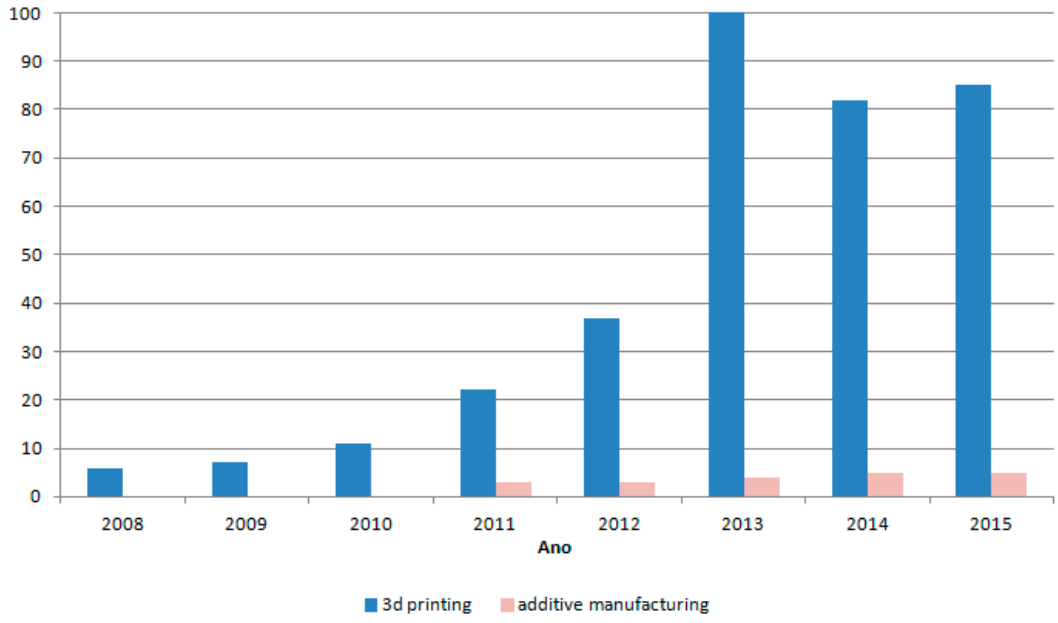


Figura I.1 Buscas pelos termos “3d printing” e “additive manufacturing” no Google (base 100 = 2013)

[1] Google Trends (https://www.google.com/trends)

O processo de impressão 3D desperta interesse na medida em que ganha escala e atinge usuários residenciais. Com equipamentos hoje acessíveis ao consumidor final, em diversas faixas de preços e funcionalidades, como relata France et al (2015), é possível que uma pessoa tenha, em sua casa, uma impressora de objetos sólidos ligada a seu computador. Diversas revistas têm estampado, cada vez mais, em suas capas o tema impressão 3D.



Figura I.2 Montagem com capas de revistas

Outro fator que atrai a atenção para a impressão 3D é a gama de materiais que podem ser usados e a consequente variabilidade de objetos que podem ser produzidos. Frazier (2014) reporta que máquinas mais sofisticadas conseguem gerar objetos de metal e têm sido usadas na indústria. Yeong et al (2004) indicam que outras máquinas trabalham com materiais semilíquidos e permitem impressão de órgãos e tecidos. Lipton (2015) mostra o uso e a evolução de impressoras 3D para geração de alimentos, como pizzas ou chocolates.

A flexibilidade e o potencial de economia da tecnologia também são atrativos. Uma máquina que gera peças e produtos pode ter muitas aplicações e tende a gerar economia se bem usada. Uma aplicação, por exemplo, é a geração de peças de reposição para partes danificadas. Segundo a NASA (2014), a estação espacial internacional (ISS) está, desde o final de 2014, com uma impressora 3D em funcionamento para testar as propriedades mecânicas

das peças criadas e a confiabilidade do equipamento em gravidade zero. No futuro, a agência espacial americana almeja reduzir a logística e frequência de envio de ferramentas e peças de reposição da terra para o espaço, especialmente em missões de longa duração. Indiretamente, a velocidade de reposição de uma parte danificada pode ser uma grande ajuda para incrementar a segurança da estação espacial e salvar vidas.

O Gartner, em seu último estudo anual de tecnologias emergentes, chamado de *Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies* (2015), diz que a impressão 3D para uso residencial está entrando em uma fase de redução do modismo e indica que a maturidade de uso esteja ainda distante de cinco a dez anos. Para o uso industrial, o Gartner prevê a maturidade ocorrendo mais rapidamente, em até cinco anos.

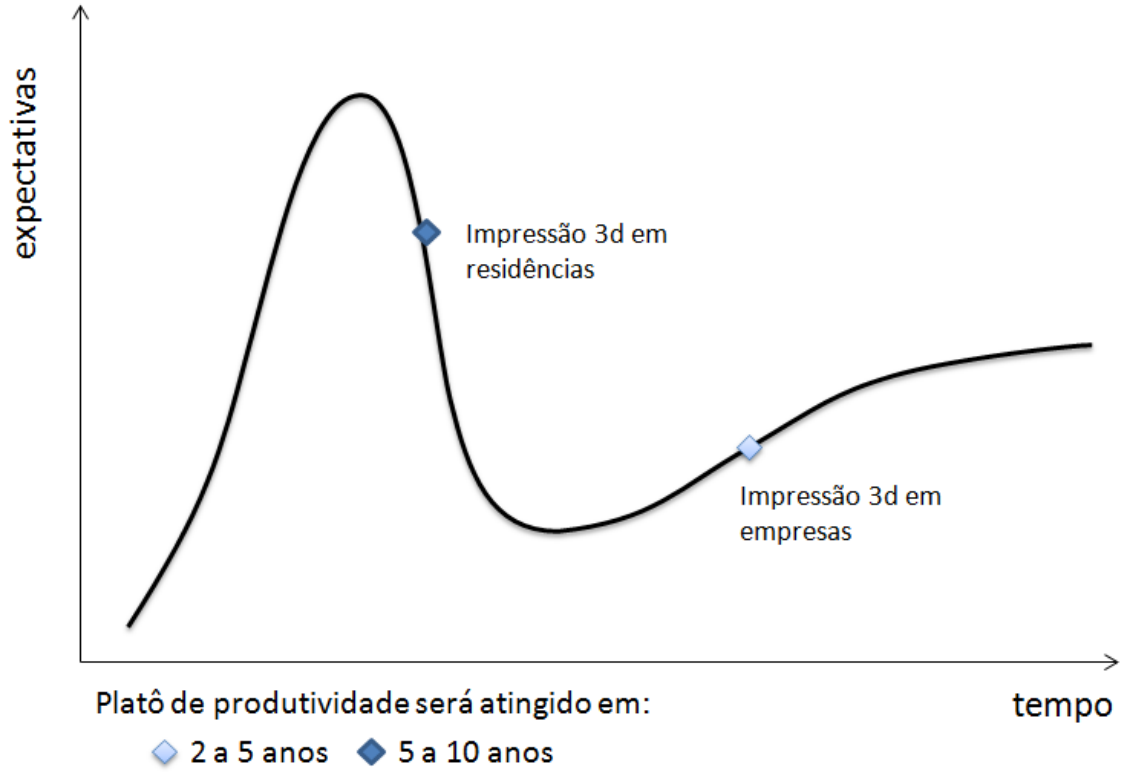


Figura I.3 *Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies* (adaptação)

Como mostra France et al (2015), a concorrência no mercado americano é intensa, com dezenas de equipamentos diferentes já disponíveis. De acordo com o artigo *3D printing scales up* da revista *The Economist* (2013), há duas principais empresas no mercado: Stratasys e 3D Systems. São empresas grandes, com nichos bem definidos, diferentes técnicas patenteadas e que, constantemente, evoluem seus produtos. No entanto, há diversos entrantes no mercado, pois ainda há muito a explorar em possibilidades de uso da impressão 3D, e essas empresas também costumam adquirir concorrentes menores.

Manyika et al., do McKinsey Global Institute (2013), estimam que a impressão 3D pode gerar um impacto econômico da ordem de centenas de bilhões de dólares até 2025, tamanhas as possibilidades de alterações nas formas de projetar, construir, distribuir e vender produtos. Portanto, há um mercado a ser explorado e, com ele, oportunidades de evoluções tecnológicas para o futuro. A partir disso, vislumbrou-se um espaço para a realização deste trabalho. Por meio de técnicas de análise de dados de patentes e de redes sociais, como redes de citação, é possível realizar um estudo de prospecção tecnológica visando tentar entender quais são as principais técnicas usadas hoje, possíveis tendências para o futuro da tecnologia e seus possíveis impactos.

Ao estudar as patentes, podemos também tentar entender quais são as empresas que detêm mais capital intelectual no mercado, quais estão em expansão e quais tipos de parceria, eventualmente, acontecem. Essas informações, aliadas a dados econômicos do mercado, podem levar a conclusões interessantes.

I.1 Objetivos e Justificativa

Este trabalho possui três objetivos principais.

O primeiro objetivo é analisar patentes e tentar compreender quais as principais técnicas usadas, quais empresas possuem as patentes, quais são as principais patentes já produzidas, como elas se derivaram em outras patentes e, enfim, como se dá a dinâmica dessas evoluções.

A análise pode vir a dar subsídios para se vislumbrar como se dará a evolução da tecnologia, o que tem amparo e justificativa em vista da aplicabilidade e visibilidade que a tecnologia tem tido nos últimos anos. Segundo Atzeni e Salmi (2012), no mercado industrial, a tecnologia tem ficado cada vez mais viável economicamente, de modo que pequenos lotes podem ser produzidos com impressão 3D a custos inferiores em relação aos obtidos com processos tradicionais, sendo o impacto dessa tecnologia sensível não só no mercado residencial.

O segundo objetivo do trabalho é tentar avaliar a dinâmica das empresas no mercado. Dado que as patentes são ligadas a empresas – muitas vezes, a mais de uma –, pode ser possível avaliar o capital intelectual de uma empresa e reconhecer parcerias, aquisições e fusões entre companhias.

Uma contribuição do trabalho é demonstrar a aplicação de um conjunto de técnicas para a realização do estudo aqui proposto, em especial, a criação e análise da rede de citações de patentes. Com isso, espera-se que o leitor possa aplicar o procedimento em outros nichos tecnológicos e validar o método descrito ao longo deste texto.

Em termos de escopo do trabalho, foram feitos dois recortes no conjunto de itens que poderiam ser estudados.

Primeiro, em função do tamanho do mercado, da pluralidade de técnicas e materiais usados, e da quantidade de pesquisas registradas, este trabalho não tratará, detalhadamente, das aplicabilidades nas áreas médicas (impressão de órgãos e tecidos) e de microtecnologia (impressão de objetos em escalas de milimétricas a nanométricas). Este trabalho irá focar o uso mais tradicional da tecnologia, que permite a criação de objetos utilizáveis no dia a dia das pessoas e empresas, em escala residencial ou industrial.

Segundo, muito embora os artigos científicos sejam relevantes para o processo de evolução de uma tecnologia, optou-se, neste trabalho, em focar a análise nas patentes, que, efetivamente, registram os produtos tecnológicos levados ao mercado e que geram resultado econômico.

I.2 Metodologia

Este trabalho é um estudo bibliométrico de caráter exploratório. Por meio da análise de documentos – no caso, de patentes registradas na base *Derwent Patent Index* da *ISI Web of Knowledge* –, avalia-se como realizar prospecção de tecnologia com o uso de técnicas de redes sociais, aplicada ao caso tecnológico de impressão 3D. Foram aplicadas técnicas de prospecção de tecnologia, tais como análises de tendências, métodos estatísticos e métodos de inteligência baseados em análises de patentes.

Foram montadas redes de citação entre as patentes de impressão 3D. Diversas características dessas redes foram estudadas, com apoio do *software* Pajek (2003), a fim de identificar as patentes mais importantes, os maiores depositantes, as relações de citação entre os depositantes e diversos outros indicadores.

Os dados das patentes também permitiram análises do estágio de evolução da tecnologia e *fitting* de dados reais a um modelo de Curva-S, que projeta quando a maturidade de uma tecnologia ocorrerá. Além disso, os códigos de áreas de conhecimento mais usados nas patentes permitiram estudos das tendências seguidas pelas invenções mais recentes, que permitem indicar como a tecnologia poderá se desenvolver em um futuro próximo.

I.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado da seguinte forma.

O capítulo I tem caráter introdutório e contextualiza o trabalho, seus objetivos e as linhas gerais.

O capítulo II aborda os referenciais teóricos de impressão 3D e manufatura aditiva que sustentam o estudo realizado, tais como suas técnicas e aplicações, que serão úteis para as análises dos resultados.

O capítulo III conceitua e discorre sobre redes sociais, o que são os atores sociais, algumas técnicas úteis para análise das redes, alguns tipos de redes que podem ser montadas e outros tópicos relacionados. Em especial, neste capítulo são abordados os conceitos de redes de citação, *spillover* de conhecimento tácito e Caminho Principal, que serão fundamentais para as análises realizadas no capítulo VI.

O capítulo IV trata sobre prospecção tecnológica, patentes e como os dois temas se relacionam na medida em que o estudo de patentes pode ser usado como método de prospecção tecnológica. Neste capítulo, é abordado o modelo da Curva-S de tendência de evolução tecnológica, que se baseia na quantidade acumulada de novas patentes ao longo do tempo. Esse conceito é fortemente usado no capítulo VI e é central para as conclusões deste trabalho.

O capítulo V descreve a metodologia usada no trabalho. O método de estudo exploratório é descrito, e discorre-se também sobre como uma modelagem de redes sociais permite uma análise em relação aos dados coletados de patentes. Neste capítulo, também é discutido como foram obtidos os dados brutos do trabalho e sobre os tratamentos realizados nesses dados: há um fluxograma que descreve todas as etapas de pré-processamento dos dados brutos, e vários passos são descritos de forma bastante detalhada para facilitar possíveis reproduções das técnicas aplicadas.

O capitulo VI mostra o que foi realizado no estudo, envolvendo a montagem e análise das redes sociais, análises sobre dados das patentes bem como discorre sobre resultados alcançados. São realizadas também: análises sobre os depositantes das patentes e das citações entre eles; análises das áreas de conhecimento que as patentes declaram, o que permite análises de tendências; *fitting* de dados em Curva-S de modelagem de evolução tecnológica; análises de Caminhos Principais; entre outras.

O capítulo VII conclui o trabalho, mostrando pontos indicados pelo estudo, possíveis melhorias na metodologia e outras reflexões.

Capítulo II - Impressão 3D

II.1 Prototipagem Rápida e Manufatura Aditiva

Yan e Gu (1996) definem a prototipagem rápida como um processo usado para criação de objetos em 3D a partir de programas de computador. O modelo do objeto em um programa CAD (*computer aided-design*) é concretizado a partir de métodos de manufatura realizados em máquinas ligadas ao computador.

Ainda segundo Yan e Gu (1996), a prototipagem rápida é importante na visualização de modelos projetados no computador, e reduz o tempo e custo para criação de protótipos ou moldes industriais ao não exigir a atividade de artesãos qualificados, diminuindo o tempo total do ciclo de desenvolvimento de produtos.

Pham e Gault (1998) classificam os métodos de prototipagem rápida entre adição de materiais ou remoção de materiais. A manufatura aditiva se baseia em junção de materiais para a criação de um objeto. A manufatura de remoção se pauta na subtração de elementos a partir de uma peça maior, a fim de gerar o objeto desejado, como se fosse uma escultura. A manufatura aditiva ganhou mais popularidade pelo fato de ter menos desperdício de material e de muitas técnicas terem sido criadas para implementar, comercialmente, esse método.

Kruth, Leu e Nakagawa (1998) mostram que a impressão 3D surgiu como uma entre várias técnicas de prototipagem rápida. Com o passar do tempo, o termo impressão 3D cresceu em importância e hoje é sinônimo de manufatura aditiva, em função de várias técnicas desse tipo serem usadas em equipamentos e práticas de impressão 3D, como a stereolitografia, que será descrita, em detalhes, na seção 3 deste capítulo.

II.1.1 Definição, histórico e a situação atual do mercado

A ASTM International (2013) define a impressão 3D como um processo de junção de materiais para criar objetos a partir de dados de um modelo 3D, normalmente, camada sobre camada.

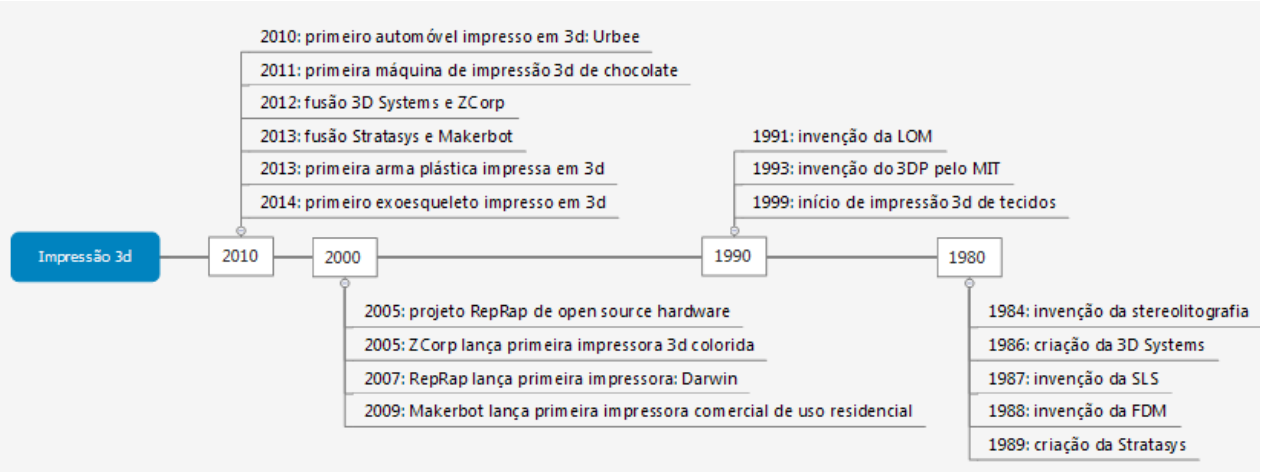


Figura II.1 Linha do tempo da tecnologia de impressão 3D

A impressão 3D teve seu desenvolvimento iniciado na década de 80. Duas importantes empresas do mercado atual, 3D Systems e Stratasys, foram fundadas nessa década, por pessoas que descobriram novas técnicas de manufatura aditiva e resolveram abrir empresas para alavancar suas ideias.

A 3D Systems foi fundada por Charles Hull em 1986, depois de este ter inventado o processo de stereolitografia com a patente US 4575330 (1986). Esse processo se baseia em uma resina líquida em que um *laser* ultravioleta desenha uma camada de padrões determinados. A ação do *laser* endurece a resina, formando uma camada do objeto final. Uma nova fina camada de resina líquida é aplicada sobre a camada anterior, e o processo se repete, com as partes que ficam sólidas em cada camada se unificando com as partes sólidas da camada inferior. De acordo com Yan e Gu (1996), essa patente gerou a primeira máquina de prototipagem rápida disponível comercialmente.

A Stratasys foi fundada também na década de 80, por S. Scott Crump, quando este inventou o processo FDM (*fused deposition modelling*), por meio da patente US 5121329 (1992). Esse processo se baseia no uso de um filamento de material termoplástico depositado por uma cabeça de impressão aquecida, que se move de acordo com o desenho do objeto necessário. O material é depositado na forma líquida, une-se com o material já previamente depositado em função do aquecimento e logo se solidifica, dando forma, camada por camada, ao objeto final.

Nos fins dos anos 80 e durante a década de 90, novas técnicas surgiram nos mais variados locais, e a pesquisa começou a ganhar mais diversidade, como mostrado no levantamento de Kruth, Leu e Nakagawa (1998). Esse estudo mostra também que as técnicas evoluíram em termos de qualidade e velocidade de criação para geração do produto final. Nesse mesmo período, surgiram empresas como DTM (EUA), Z Corporation (EUA), EOS GmbH (Alemanha), Objet Geometries (Israel), entre outras, que tornaram-se competidoras da

3D Systems e da Stratasys. Também na década de 90, iniciou-se a impressão 3D de tecidos pelo Wake Forest Institute for Regenerative Medicine[2].

Em 2005, foi lançado o projeto RepRap [3], pelo professor Adrian Boyer, da Universidade de Bath. Seguindo os princípios de *softwares open source*, o projeto consistia em lançar uma impressora 3D gratuita, com instruções para que os próprios usuários fabricassem suas peças de reposição necessárias ou mesmo outra impressora 3D. Aproximadamente, 50% das peças da impressora podem ser impressas, e a outra metade está relacionada a componentes que podem ser encontrados em lojas de ferragens ou eletrônicas. Usando uma técnica chamada FFF (*fused filament fabrication*), baseada na FDM, mas com outra denominação para permitir uso livre de pagamentos de direitos para a Stratasys, RepRap trouxe a primeira impressora para uso residencial, popularizou a tecnologia e originou um movimento de impressão 3D *open source hardware*.

Manyika et al., do McKinsey Global Institute (2013), reportam que, no fim dos anos 2000, diversas patentes protegidas começaram a se tornar públicas, como as patente de FDM e stereolitografia, permitindo que uma grande quantidade de pequenos fabricantes criassem produtos usando uma tecnologia que se tornou livre de pagamentos de direitos. Essa pluralidade de fabricantes gerou novas ideias e inovações tecnológicas, alavancando ainda mais o mercado. Atzeni e Salmi (2012) avaliaram que, em paralelo, as técnicas mais antigas também evoluíram, de modo que os objetos criados tivessem cada vez mais detalhes e acabamentos mais sofisticados, como a empresa Z Corporation que, em 2007, lançou uma impressora que faz acabamento em cores com técnica de jatos de tinta. Além disso, tais processos se tornaram mais competitivos em termos de custo para produções em pequena e larga escala.

Com a queda de proteção de patentes e o projeto RepRap, não tardaram a surgir, no fim dos anos 2000, os empreendedores que criaram impressoras domésticas, um nicho não atacado, inicialmente, pela Stratasys ou 3D Systems. Entre essas empresas, surgiram a Makerbot, Formlabs, Ultimaker e outras. Rapidamente, Stratasys e 3D Systems trataram de realizar algumas aquisições para também entrar nesse mercado promissor – tal como a aquisição da empresa Makerbot pela Stratasys –, como relata a revista *The Economist* (3D printing scales up, 2013).

A evolução da tecnologia acarretou desenvolvimento das tecnologias de suprimentos para impressoras e s*oftwares*, e de novos serviços no mercado. Em termos de serviços, foram criadas empresas especializadas em vender serviços de impressão em 3D, como a makexyz.com (2015), ou outras que fornecem modelos tridimensionais para pessoas poderem imprimir, sem ter o trabalho de modelar no computador, o objeto desejado, como a Makerbot Industries com o portal Thingiverse (2015). Fabricantes de *softwares* começam a direcionar

[2] Disponível em http://www.wakehealth.edu/Research/WFIRM/News/A-Record-of-World-Firsts.htm

[3] Disponível em http://reprap.org/

produtos para facilitar a modelagem e impressão 3D de modelos, como a Autodesk, que comercializa, há anos, o *software* Autocad e que está diversificando seu portfólio com o portal Autodesk 123D (2015). Fabricantes de suprimentos evoluem seus produtos, como a Fenner Drives com a linha de produtos Ninja Flex (2015), um filamento emborrachado para impressoras que usam a tecnologia FDM.

Thiesse et al. (2015) reportam que o mercado mundial de impressão 3D, em 2013, era estimado em três bilhões de dólares, podendo chegar a 10 bilhões de dólares em 2021. No entanto, salientam que o mercado industrial e de uso doméstico são bastante distintos e devem ser estudados separadamente. Kietzmann, Pitt e Berthon (2015) afirmam que o baixo custo das impressoras de uso doméstico, entre US$ 300 e US$ 3.000, pode acarretar uma mudança de paradigma, com os usuários passando a fabricar suas peças em vez de consumir peças prontas, além de um aumento nas vendas das empresas que fabricam as impressoras 3D.

Em termos de empresas, há uma liderança em valor de mercado da Stratasys e 3D Systems[4]. A partir de 2009, com o surgimento das empresas voltadas para o consumidor residencial, observou-se uma estratégia de aquisições por parte dessas duas empresas.

A 3D Systems realizou cerca de 50 aquisições, como revela uma busca pelos termos "3D Systems acquires" na área de *Press Release* de seu *site*[5]. A mais relevante foi da Z Corporation em 2012, dando à 3D Systems a capacidade de não só entrar no mercado de consumo residencial mas também com um equipamento diferenciado, que possui acabamento em cores. A 3D Systems demonstra querer montar um portfólio amplo de atuação, pois muitas empresas adquiridas são de *softwares* ou serviços.

A Stratasys, por sua vez, adquiriu a Makerbot, para entrar no mercado do consumidor residencial, e algumas poucas outras empresas, como a Solidscape[6] e a Objet Ltd[7]. A Stratasys demonstra querer montar um portfólio mais diverso de equipamentos e patentes, pois as empresas adquiridas possuem máquinas que atuam em determinados nichos de mercado, como impressão de metais com alta precisão.

Os impactos no mercado em função do avanço da tecnologia podem ocorrer em diversos aspectos. Kietzmann, Pitt e Berthon (2015) analisam que o gerenciamento de estoques será revolucionado, com peças sendo criadas localmente sob demanda, reduzindo custos e espaços de estocagem. Isso também afeta a cadeia de suprimentos, com criação de um modelo de fabricação descentralizada. A descentralização também permite a customização de produtos de acordo com a necessidade dos clientes, gerando um novo tipo de mercado: de customização em massa. Por fim, a descentralização e a mudança na cadeia de suprimentos podem gerar também redução de impacto ecológico, em função da diminuição da quantidade

[4] Disponível em http://3dprintingindustry.com/2015/03/19/fiscal-2014-revenue-results-3d-printings-top-10-guns/
[5] Disponível em http://www.3dsystems.com/search/node/3d%20Systems%20acquires
[6] Disponível em http://investors.stratasys.com/releasedetail.cfm?releaseid=599807
[7] Disponível em http://investors.stratasys.com/releasedetail.cfm?releaseid=664239

de canais de distribuição de peças e insumos. Tudo isso compõe um cenário de mudança disruptiva do mercado.

Essa capacidade de reverter o modo de funcionamento do mercado é que levou a consultoria McKinsey Global Institute, por meio de seus pesquisadores Manyika et al. (2013), a estimar que a impressão 3D pode gerar um impacto econômico da ordem de centenas de bilhões de dólares até 2025.

Em função das máquinas de impressão 3D serem versáteis e terem possibilidade de trabalhar com diversos tipos de produto, Weller et al. (2015) reiteram o caráter disruptivo da tecnologia e apontam quatro padrões de mercado onde a tecnologia deve impactar profundamente: mercado de baixa quantidade de peças produzidas, como de prototipação e peças sobressalentes de equipamentos antigos; mercado de produtos de alta complexidade, como o de peças aeroespaciais; mercado com alta demanda de customização, como próteses ou produtos esportivos; mercado geograficamente remoto, como mineração ou espacial. Em comum, todos têm grande grau de flexibilidade em algum aspecto, mas mantêm padrões com características genéricas o suficiente para impactar globalmente. É curioso o fato de que, com a impressão 3D, não existe uma economia de escala. Uma vez criado um modelo em 3D, o custo e o tempo para gerar dez objetos é dez vezes o custo e o tempo para gerar um objeto. Isso, certamente, é uma fraqueza quando se pensa em produzir milhões de objetos semelhantes. No entanto, é uma virtude quando se pensa em modelos de negócio flexíveis, em que os objetos são customizados e com (possivelmente) alta margem de lucro.

II.1.2 Tecnologias

Segundo Huang et al (2013), os processos, de um modo geral, criam camadas e as consolidam de diversas formas, principalmente por energia térmica ou cabeças de impressão que injetam aglutinantes ou solventes.

A ASTM International classificou as tecnologias de manufatura aditiva em sete categorias (2013): injeção de aglutinante, deposição com energia direcionada, extrusão de material, injeção de material, fusão de camada de pó, laminação de folhas e fotopolimerização vat.

O processo de injeção de aglutinante é representado por uma tecnologia em que um material em pó é depositado e solidificado por meio de um aglutinante injetado por uma cabeça de impressão (Gao et al., 2015). Como a peça resultante é basicamente composta de grânulos misturados ao aglutinante injetado, um pós-processamento químico pode ser necessário para dar mais solidez à peça. A vantagem desse método é ser simples e barato, podendo trabalhar com pó de plásticos, resinas, cerâmica ou metal.

O processo de deposição com energia direcionada usa um feixe de *laser* ou de elétrons refletido para fundir pó ou fio de metal a uma camada inferior (Frazier, 2014). A cabeça que

deposita o material se move, acompanhada pelo feixe de *laser*, montando o objeto em três dimensões. Alternativamente, a cabeça pode ficar fixa junto com o feixe do *laser*, e a plataforma com a peça se mover. Essa tecnologia permite a criação de peças maiores, e ajustes e reparos em peças já desgastadas, com a inclusão de mais material fundido a uma peça já existente. Gao et al (2015) defendem que essa tecnologia gera peças extremamente robustas, com altíssima densidade.

O processo de extrusão de material é caracterizado, principalmente, pela tecnologia FDM, criada pela Stratasys. Pham e Gault (1998) explicam que a tecnologia se baseia em uma cabeça que deposita um fio de material derretido, que rapidamente esfria e solidifica, sobre um substrato. Novamente, a cabeça pode ser móvel ou a plataforma que contém a peça que está sendo montada pode se mover sob a cabeça. A FDM tem um problema em relação à definição do acabamento da peça, que é dependente da espessura do filamento usado. É uma tecnologia barata, que funciona majoritariamente com plástico, mas já há evoluções com metais e cerâmicas.

O processo de injeção de material é análogo ao da impressora jato de tinta: pequenas gotas de cera ou de algum fotopolímero são depositadas em um substrato e se solidificam por meio de aquecimento ou fotocuragem (Gao et al., 2015). Como se usa um material líquido, que possui viscosidade, a densidade da peça final não é alta. A vantagem do método é que pequenas gotas de outros materiais, como semicondutores, podem ser inseridas no material, conferindo à peça final algumas propriedades que podem ser interessantes.

O processo de fusão de camada de pó foi talvez a primeira técnica de impressão 3D criada na década de 80, por Deckard e Beaman (Gao et al., 2015), e cuja principal tecnologia envolvida é a SLS (*selective laser sintering*). De acordo com Kruth, Levy e Schindel (2003), pó de metal em escala da ordem de 100µm é depositado em uma camada, e um *laser* sinteriza a parte necessária dessa camada à camada anterior. Outra camada de pó é espalhada, e o processo continua até que o objeto esteja completo. Esse processo também é conhecido como *selective laser melting*, quando o *laser*, efetivamente, derrete o material, em vez de apenas sinterizar. As duas tecnologias geram peças com propriedades diferentes em termos de densidade e resistência, sendo o processo de derretimento mais eficaz nesse sentido. No entanto, requer mais tempo e energia, sendo mais caro e complexo. As tecnologias desse processo trabalham principalmente com metais, mas a cerâmica também já é usada, em escala menor e mais experimental, com diversos materiais, segundo relato de Kruth, Deckers e Vleugels (2014).

O processo de laminação de folhas constrói objetos com o empilhamento de camadas de materiais, que são cortadas no formato necessário para aquela seção do objeto e coladas à camada colocada anteriormente (Kruth, Leu e Nakagawa, 1998). É uma técnica bastante simples, que funciona com diversos tipos de materiais, desde papel até metal. O adesivo usado

varia com o material escolhido para a impressão do objeto. Um problema dessa técnica é que há resíduos de matéria-prima para cada folha usada, que são os restos que foram cortados. É possível reutilizar os resíduos, mas pode ser difícil recombiná-los em uma folha para nova alimentação na máquina, de modo que essa técnica pode não ser muito eficiente em termos de uso de recursos. Por outro lado, é uma máquina mais simples, barata e apropriada para prototipagem.

A última categoria é a de fotopolimerização vat. A principal tecnologia dessa categoria é a stereolitografia, inventada por Charles Hull com a patente US 4575330 (1986) e que gerou a empresa 3D Systems. Como descrito anteriormente, um *laser* ultravioleta endurece parte de uma seção do objeto, uma nova camada de resina é disposta e o *laser* novamente endurece o que é necessário desta camada, unificando a parte endurecida com a camada anterior. O delicado desse processo é a potência do *laser* e o tempo em que determinada área é atingida, que podem gerar erros. Segundo Gao et al (2015), outros fatores delicados são erros devido ao formato de certas linhas, altos custos em materiais e suprimentos, e uso quase que exclusivo de materiais fotopolímeros, limitando o uso da tecnologia. No entanto, Kruth, Deckers e Vleugels (2014) relatam diversos estudos para a impressão 3D de objetos de cerâmica. De um modo geral, a fotopolimerização é feita com uma solução de resina que contém partículas de cerâmica. Após a construção normal do objeto, é preciso retirar o polímero gerado e sinterizar a estrutura em forno para que se obtenha o objeto final em cerâmica.

O quadro a seguir sintetiza as principais tecnologias nas categorias aqui dispostas, usando, como fonte principal, o trabalho de Gao et al (2015).

Em termos de características mecânicas das peças de metal, Frasier (2014) mostra que algumas ligas metálicas trabalhadas com as tecnologias EBM e DMLS, da categoria fusão de camada de pó, possuem características semelhantes à liga trabalhada em processos tradicionais. Em especial, a liga Ti-6Al-4V, que tem sido mais usada na indústria aeroespacial. Quando trabalhada no processo DMLS, possui tensão de ruptura à tração de cerca de 1000 MPa, enquanto a liga típica em processos tradicionais possui 897 MPa. Além disso, a liga trabalhada no processo DMLS possui elasticidade de 13%, frente a 15% do processo tradicional, e possui tensão de deformação de 900 MPa, frente a 828 MPa do processo tradicional. Portanto, se bem trabalhadas, as peças metálicas trabalhadas em processos de manufatura aditiva podem ter características físicas tão boas quanto as peças tradicionais.

Categoria	Exemplo de tecnologia	Materiais	Características
injeção de aglutinante	Inkjet printing (MIT, ExOne, Z Corporation = 3D Systems)	Metais, cerâmicas, polímeros, areia, vidros	Permite impressão de objetos coloridos, requer pós-processamento para dar mais resistência ao objeto, que termina o processo com certo nível de porosidade.
deposição com energia direcionada	LENS – *laser engineered net shaping* (Optomec)	Metais	Máquinas mais sofisticadas e caras, permite conserto de peças danificadas, peças criadas com alta densidade e resistência.
extrusão de material	FDM (Stratasys) e FFF (diversas, entre elas, Makerbot = Stratasys)	Plásticos	Máquinas baratas, permite trabalhar com diversos materiais simultaneamente, mas tem baixa resolução e acabamento.
injeção de material	Polyjet (Objet Ltd = Stratasys)	Ceras, fotopolímeros	Permite trabalhar com muitos materiais simultaneamente, bom acabamento, baixa resistência.
fusão de camada de pó	SLS – *selective laser sintering* (DTM = 3D Systems)	Polímeros, cerâmicas e metais com pós-processamento	Objetos muito densos, com ótimo acabamento e resistência. Equipamentos mais caros que os de FDM, tempo maior de criação dos objetos. Métodos DMLS ou SLM produzem peças com maior densidade e resistência que o processo SLS.
	SLM – *selective laser melting* – ou DMLS – *direct metal laser sintering* (EOS GmbH)	Metais	
	EBM – *electron beam melting* (Arcam AB)	Metais	
laminação de folhas	LOM – l*aminated object manufacturing* (Cubic)	Plásticos, papéis, metais, cerâmicas	Bom acabamento, baixo custo de equipamento, problemas para criação de peças complexas.
fotopolimerização vat	Stereolitografia (3D Systems)	Resinas, cerâmicas	Bom acabamento e resolução da peça. Processo veloz, mas alto custo de insumos.

Figura II.2 Quadro resumo de categorias e tecnologias de impressão 3D

Capítulo III - Redes Sociais

III.1 Análise de Redes Sociais

Wasserman e Faust (1994) declaram a Análise de Redes Sociais (ARS) como o estudo de uma estrutura formada por um conjunto finito de atores e de relações sociais existentes entre eles. Os atores da rede podem ser quaisquer elementos que se deseja estudar, desde que possuam relações entre si. Por exemplo, o ator pode ser uma família de patentes ou empresas no cenário deste trabalho. Nesse exemplo, as relações sociais podem ser colaboração ou citação. No entanto, redes podem ser mais genéricas: os atores podem ser pessoas, e as relações podem ser laços familiares ou de amizade.

De acordo com de Nooy, Mrvar e Batagelj (2005), o principal objetivo da ARS é a detecção e interpretação de padrões de ligações sociais entre atores. Para tanto, é muito importante delinear os limites da rede, especificando os membros que fazem e os que não fazem parte da rede social.

A rede social é representada como um grafo G = (V, E), formado por vértices (V) e arestas (E). Os vértices representam os atores da rede, e as arestas representam as relações existentes entre dois atores. As arestas podem ser multivaloradas e também podem ser direcionadas, chamando-se então arcos, caso as relações sociais representadas denotem alguma relação de causalidade ou fluxo de informações entre os vértices.

III.1.1 Principais conceitos e técnicas

Um conceito importante de ARS é a densidade. De acordo com Otte e Rosseau (2002), a densidade é um indicador do grau de interconectividade de uma rede. A densidade é calculada dividindo-se o número de arestas do grafo pelo número máximo possível de arestas desse grafo, supondo que todos os vértices fossem ligados entre si. Ou seja, se *l* é o número de arestas e *n* é o número de vértices, a densidade *u* de uma rede não direcionada pode ser calculada pela fórmula:

$$u = \frac{l}{\frac{n * (n-1)}{2}}$$

A densidade, portanto, é um indicador cujo valor varia entre 0 e 1, com valores próximos de zero indicando redes pouco densas. A densidade tende a ser menor em redes direcionadas, pois é possível existir o dobro de arestas (*n*(n - 1)*).

Outro conceito fundamental é o grau de um vértice. O grau de um vértice é o número de vértices adjacentes a um vértice. O grau de um vértice também pode ser entendido pelo

número de arestas incidentes no vértice. Embora seja simples de se computar ou compreender, o grau é um conceito poderoso, que mostra diretamente o quanto um ator se conecta a outros e, sob certo aspecto, a importância de um vértice na rede. O grau de um vértice varia de 0 a *n* - 1, sendo *n* o número de vértices na rede.

De Nooy, Mrvar e Batagelj (2005) definem um caminho geodésico como o menor caminho entre dois vértices. Desse conceito, deriva a definição de distância entre dois vértices como sendo o comprimento do caminho geodésico entre os dois vértices.

O conceito de centralidade, segundo de Nooy, Mrvar e Batagelj (2005), é um dos mais antigos conceitos de Análise de Redes Sociais. O fato de um ator ter algum caráter central na rede indica que ele possui mais acesso a informações ou maior capacidade de divulgar informações ou de influenciar outros atores. Os autores categorizam as medidas de centralidade em três tipos: centralidade de grau, centralidade de proximidade e centralidade de intermediação.

A centralidade de grau (*Cd*), *degree* no inglês, é o grau de um vértice. A expressão para a centralidade de grau de um vértice *v* é:

$$Cd = grau(v)$$

Souza, Barbastefano e Lima (2012) ressaltam que a centralidade de grau tem um caráter bastante localizado e que uma análise maior em relação à centralidade do vértice deve ser realizada em conjunto com outras medidas de centralidade. Na figura III.1, é definida a rede de exemplo I, com vértices notáveis A e B. Com uma rápida inspeção, percebe-se que A e B possuem o mesmo grau, 5, mas, olhando a rede de uma forma mais global, o vértice A pode, intuitivamente, ser considerado mais central que o vértice B.

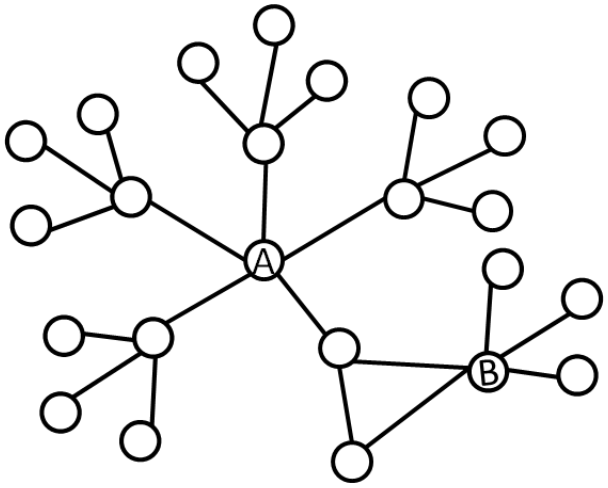


Figura III.1 Rede de exemplo I, com destaque para vértices A e B

A centralidade de proximidade (Cc), *closeness* no inglês, é um indicador que busca usar a posição estrutural dos atores em toda a rede como forma de computar a centralidade,

explicam Otte e Rosseau (2002). O indicador é computado para um vértice como sendo o número de outros vértices da rede dividido pela soma das distâncias (tamanhos dos caminhos geodésicos) entre o vértice e todos os demais vértices da rede. Desse modo, como esclarecem de Nooy, Mrvar e Batagelj (2005), quanto menor a soma das distâncias, maior o indicador de proximidade. Dados um vértice *v* e a distância *d(v,y)* entre os vértices *v* e *y*, a centralidade de proximidade pode ser expressa como abaixo, onde *y* representa qualquer outro vértice da rede:

$$Cc(v) = \frac{n-1}{\sum_y d(v,y)}$$

Na rede de exemplo I, a centralidade de proximidade de A é maior que a de B, pois, embora ambos tenham distância 1 para outros cinco vértices, B possui 12 vértices com distância 4, que afetam, negativamente, o indicador. Com efeito, pode-se calcular a proximidade de A sendo igual a 0,523 e a proximidade de B sendo igual a 0,328.

A centralidade de intermediação (Cb), *betweenness* no inglês, procura mostrar o quanto um vértice é importante no fluxo de informações de uma rede. A definição dada por de Nooy, Mrvar e Batagelj (2005), aplicável apenas para grafos direcionados, é que a centralidade de intermediação de um vértice é a proporção dos caminhos geodésicos entre todos os nós da rede que passam pelo vértice. É um percentual de caminhos que passam por um vértice, que demonstra o quanto a rede depende do vértice ou o quanto sofreria em termos de aumento dos caminhos se esse vértice fosse removido da rede. Portanto, dado um vértice *v*, a quantidade *T(x,y)* de caminhos entre dois vértices diferentes de *v* e a quantidade *T(x,v,y)* de caminhos entre *x* e *y* que passam por *v*, *Cb(v)* pode ser expressa como:

$$Cb(v) = \sum_{x,y \neq v} \frac{T(x,v,y)}{T(x,y)}$$

Na rede de exemplo I, a centralidade de intermediação de A seria 0,831 e a centralidade de intermediação de B seria 0,259.

Portanto, ao avaliar os três indicadores de centralidade, pode-se perceber que, embora dois vértices de uma rede tenham valores próximos de centralidade de grau, os outros indicadores podem reforçar a posição de centralidade de um determinado vértice em detrimento do outro.

Uma rede pode conter uma ou mais componentes conexas, que é um conjunto de vértices e arestas em que há, pelo menos, um caminho entre quaisquer pares de vértices. Define-se a componente gigante como a maior componente conexa da rede. O uso de componentes gigantes para definir o escopo da rede, eliminando vértices desconectados da maioria dos outros vértices, é recomendado por de Nooy, Mrvar e Batagelj (2005) como um bom ponto de partida para a análise da rede.

Outro conceito importante é o de prestígio estrutural, presente apenas em redes direcionadas. Segundo Wasserman e Faust (1994), o prestígio pode ser de grau ou de proximidade. Os atores de maior prestígio de grau de uma rede tendem a ser aqueles

elementos com maiores graus de entrada, ou seja, com uma grande quantidade de arcos chegando nesse vértice. No entanto, o prestígio de grau mede apenas atores adjacentes ao ator estudado. O conceito de proximidade de prestígio é mais abrangente.

A proximidade de prestígio mede a influência de um ator sobre todos os atores a que ele está conectado, direta ou indiretamente. Assim, de Nooy, Mrvar e Batagelj (2005) introduzem a definição de domínio de um vértice da rede: o total ou o percentual de todos os demais vértices da rede a ele conectados por um caminho. Neste ponto, é importante notar que analisar uma sub-rede formada pela componente gigante ou analisar a rede toda, onde diversos vértices podem estar em componentes menores disjuntas, pode levar a resultados muito diferentes em termos de valor do domínio.

Uma vez definido o domínio, de Nooy, Mrvar e Batagelj (2005) declaram a proximidade de prestígio (Pp) de um vértice como a proporção entre o domínio de um vértice e a média das distâncias dos vértices do domínio ao vértice de interesse.

Seja *v* o vértice de interesse, *n* o número de vértices da rede, *i* o número de vértices no domínio e *d(v,x)* a distância entre o vértice *v* e um outro vértice *x* qualquer do domínio de *v*, a proximidade de prestígio pode ser expressa como:

$$Pp(v) = \frac{\frac{i}{n-1}}{\sum_{v \neq x} \frac{d(v,x)}{i}}$$

Esse conceito é interessante na medida em que dá mais peso para vértices próximos e menos peso para vértices distantes do vértice de interesse. Desse modo, um vértice tem índice alto se possui muitos vértices próximos. Mesmo que possua um grande domínio, se a maioria dos vértices estiver distante, o prestígio fica baixo.

Por fim, outro conceito fundamental de ARS é o Caminho Principal. Hummon e Doreian (1989) mostram que, focando os arcos da rede em vez de focar os vértices, é possível avaliar como o fluxo de informações flui em uma rede e qual o Caminho Principal dentro da rede para a passagem desse fluxo, o que acaba mostrando os atores principais sobre essa ótica de transporte de fluxo. Esse enfoque de fluxo de conhecimento em uma rede direcionada se encaixa muito bem em uma rede de citação, que será descrita nas próximas seções e que será elemento fundamental deste trabalho, assim como foi o objeto usado no trabalho citado.

De acordo com de Nooy, Mrvar e Batagelj (2005), a análise de Caminho Principal depende da contagem de todos os caminhos possíveis entre fontes e sumidouros. Fonte é o vértice que não recebe arcos, tem grau de entrada zero. Sumidouro é o vértice que não emana arcos, tem grau de saída zero. Uma vez contados todos os caminhos possíveis entre todas as fontes e todos os sumidouros, deve-se calcular o Peso Transversal dos arcos. O Peso Transversal de um arco nada mais é que a proporção entre os caminhos que passam pelo arco e a quantidade total de caminhos contados na rede. O Caminho Principal é o caminho entre fontes e sumidouros que contém os arcos com maiores Pesos Transversais.

Tome-se, como exemplo, a rede da figura que segue. É uma rede com 11 vértices, sendo cinco fontes, vértices de 1 a 5, e um sumidouro, o vértice 11. Há 16 caminhos possíveis entre as fontes e os sumidouros, sendo dois caminhos possíveis a partir de cada um dos vértices 2 e 3, e quatro caminhos possíveis a partir de cada um dos vértices 1, 3 e 5. Os valores nos arcos indicam o Peso Transversal do arco, isto é, o percentual de caminhos que passam por aquele arco em relação ao todo. Por exemplo, o arco que liga os vértices 7 e 9 tem o Peso Transversal 0,25, dado que quatro caminhos diferentes passam por ele, de um total de 16. O Caminho Principal é formado pelos vértices em um caminho cujos arcos possuem maiores Pesos Transversais: 4, 5, 7, 8, 9, 10 e 11.

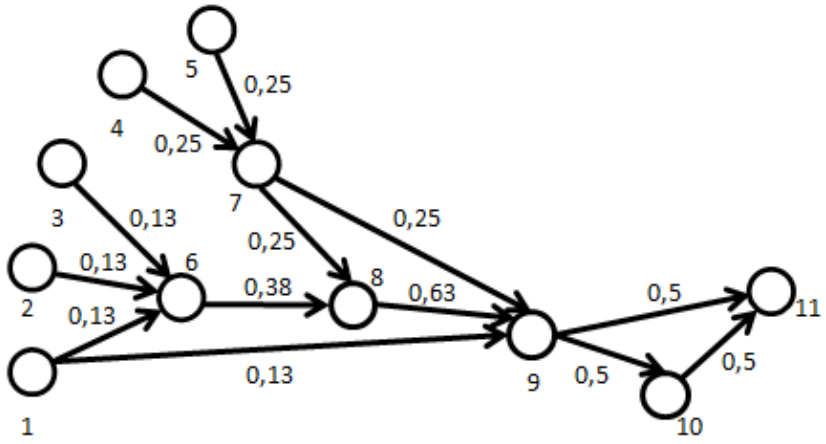


Figura III.2 Rede de exemplo II para cálculo de Caminho Principal

Hummon e Doreian (1989) definem que há variantes para o cálculo do Caminho Principal. O método acima é chamado de SPC (*Search Path Count*) e se baseia em sumidouros e fontes conforme a definição. Um método alternativo é o SPLC (*Search Path Link Count*), que relaxa a restrição de fontes, assumindo que qualquer vértice pode ser o ponto de partida da contagem dos caminhos dentro da rede. O terceiro método, SPNP (*Search Path Node Pair*), relaxa ainda mais o método original, assumindo que qualquer vértice pode ser uma fonte ou um sumidouro.

Os demais métodos, analisam de Nooy, Mrvar e Batagelj (2005), fortalecem a posição de atores no final da rede ou no meio da rede. Na medida em que o SPLC assume que qualquer vértice pode ser o início de um caminho, temos muitos outros caminhos sendo contados, mas todos sempre terminam nos mesmos sumidouros. Portanto, os arcos próximos aos sumidouros possuem pesos transversais maiores, e esse método pode ser usado quando se conhece, *a priori*, que os atores do fim da rede podem ser mais relevantes. Analogamente, o método SPNP, ao assumir que qualquer vértice pode também ser fonte, gera muitos caminhos no centro da rede, valorizando os arcos nessa região entre fontes e sumidouros, o que pode ser útil em certas análises.

Segundo Ho et al (2014), a soma dos pesos transversais do Caminho Principal pode não ser a máxima entre os caminhos da rede, porque, a cada vértice, examina-se o maior Peso Transversal até o próximo vértice. Eventualmente, pode haver um caminho que começa com pesos transversais pequenos e que é descartado como Caminho Principal, mas que possui a soma dos pesos transversais maior que a soma dos pesos transversais dos arcos do Caminho Principal. Desse modo, eles propõem uma análise mais ampla, em que são analisados os top-n maiores caminhos principais da rede – na prática, incluir mais arcos com pesos transversais relevantes. Dessa forma, ao se analisar o que é chamado de múltiplos caminhos principais globais, é possível achar partes relevantes da rede que podem ajudar nas análises. No trabalho dos autores, com rede de citação, essa análise mais detalhada levou a compreender algumas tecnologias como importantes, embora elas não estivessem no Caminho Principal. Essa análise foi corroborada por informações macroeconômicas.

Liu e Lu (2012) também seguem essa abordagem ao propor diversas técnicas para análise do Caminho Principal. Segundo os autores, a técnica tradicional de visualização de Caminho Principal – segundo eles, global – é interessante para dar uma visão completa da rede, mas peca ao não incorporar informações específicas, que eles chamam de local. Ao calcular caminhos locais a partir de certos vértices importantes da rede, descobrem-se pais ou filhos daquele vértice, que não fazem parte do Caminho Principal global, mas que contribuíram para a tecnologia também.

Além do caminho local, os autores também introduzem os múltiplos caminhos principais, em que outros caminhos principais secundários podem ser analisados para compor um cenário mais detalhado. Por último, os autores trazem, ainda, o conceito de *key-route*, o arco com maior Peso Transversal da rede. Muitas vezes, esse arco pode não fazer parte do Caminho Principal. Portanto, um método em que se parte dos vértices desse arco para descobrir demais arcos com pesos transversais relevantes garante o cálculo de um Caminho Principal em que esse arco, garantidamente, está presente. Com essas visões adicionais, Liu e Lu advogam que podem ser obtidos mais detalhes de certas regiões da rede e, assim, uma visão mais completa das vertentes da tecnologia estudada, mesmo elas não estando presentes no Caminho Principal global.

III.1.2 Redes de coautoria

Uma rede de coautoria é aquela em que os atores (vértices) são autores de trabalhos científicos, patentes ou qualquer outro tipo de trabalho intelectual. As relações são criadas entre autores que fizeram algum trabalho junto, a citada coautoria, que exprime a colaboração entre pesquisadores no caso de artigos científicos.

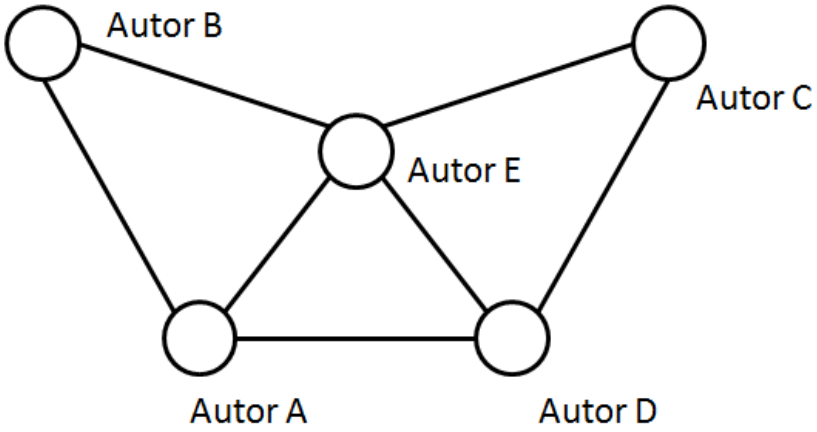


Figura III.3 Exemplo de rede de coautoria

De acordo com Newman (2004), a construção de redes de coautoria só começou a ganhar fôlego a partir do ano 2000, com a ampliação de bases de dados *on-line* e um maior acesso a dados. Antes disso, apenas trabalhos em escalas menores eram realizados; normalmente, com redes de citação.

Em redes de coautoria, é comum estudar medidas de centralidade de grau, intermediação e proximidade para tentar detectar membros importantes da rede, que, no caso, seriam autores que muito colaboram com outros e que são proeminentes em determinada rede. Outras medidas interessantes, segundo Newman (2004), são a quantidade média de autores por publicação, que varia muito com a área de conhecimento, a distância entre autores e a reincidência de coautoria do mesmo grupo de pesquisadores em trabalhos seguintes.

III.1.3 Redes de citação

Uma rede de citação é aquela formada por atores que são trabalhos científicos e em que os arcos indicam a relação de citações entre os trabalhos. Segundo Hummon e Doreian (1989), as citações são vínculos explícitos entre trabalhos que possuem importante conteúdo em comum definido no trabalho citado e reusado pelo trabalho citante.

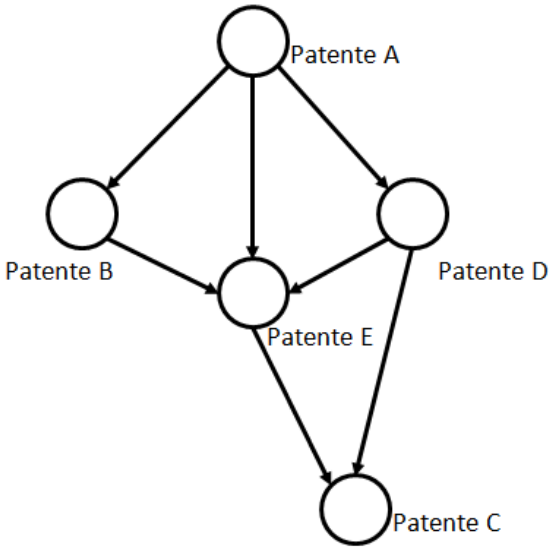


Figura III.4 Exemplo de rede de citação

Corroborando Hummon e Doreian, de Nooy, Mrvar e Batagelj (2005) explicam que citações explicitam as referências usadas em trabalhos científicos, sendo uma fonte valiosa de dados que permitem estudar o desenvolvimento científico. Além disso, os dados revelam o impacto dos trabalhos e de seus autores em trabalhos científicos posteriores, permitindo medições de suas importâncias.

Neste documento, o trabalho científico que será a base para as análises de redes sociais é a patente, o registro formal da inovação. Analogamente, o trabalho poderia focar artigos científicos, como fizeram Ho et al (2014) ao estudar a evolução e as tendências tecnológicas de células de combustíveis.

Embora o registro formal da passagem do conhecimento explícito entre patentes seja importante, Xiang et al (2013) descrevem que o *spillover* (transbordamento) de conhecimento tácito pode agregar mais informações e relacionamentos entre os atores. A ideia básica é que dois documentos que possuem autores em comum, mesmo que esses documentos não se citem, possuem um relacionamento, pois o conhecimento do autor em comum, adquirido durante a criação de uma inovação, influencia a criação da invenção posterior. Desse modo, os autores defendem a adição de novos arcos na rede para explicitar esse conhecimento tácito, que é obtido e transmitido de um documento para outro por meio da autoria em comum.

A figura que se segue ilustra essa questão. As patentes B e C citam a patente A, mais antiga. Em uma rede de citação tradicional, seria uma rede de três vértices e dois arcos. No entanto, segundo a proposta de Xiang et al (2013), um transbordamento ocorre entre as patentes B e C, dado que possuem o autor “Freitas, J” em comum. Logo, um arco é criado entre B e C, gerando uma rede não mais com dois arcos, mas, agora, com três arcos. O arco novo implica uma “falsa citação”, que exprime a passagem de conhecimento, no caso tácito,

entre as duas patentes. A orientação do arco é de caráter temporal, como se a patente mais recente citasse a patente mais antiga. No exemplo, a orientação dos arcos é a mesma que foi adotada ao longo deste trabalho, expressando o fluxo de conhecimento entre os trabalhos, indo de trabalhos mais antigos para trabalhos mais novos.

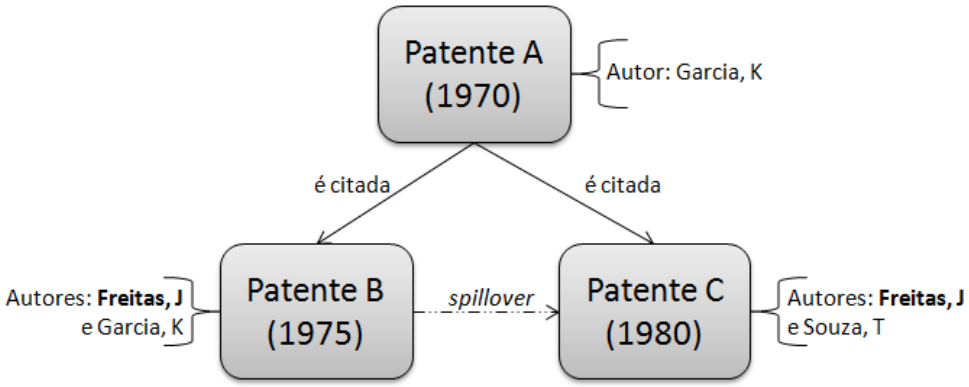


Figura III.5 *Spillover* tecnológico em função de autor em comum

Capítulo IV - Prospecção Tecnológica e Patentes

IV.1 Prospecção Tecnológica

Firat, Madnick e Woon (2008) definem prospecção tecnológica como a tentativa de antecipar e entender a direção, os efeitos e outras características de uma determinada tecnologia ao longo do tempo. Ainda segundo os autores, a prospecção tecnológica não é infalível nem perfeita, mas permite tomada de decisão com maior embasamento e com menor chance de erro. Com cada vez mais acesso a informações, a área vem tendo forte crescimento neste novo milênio, com o fortalecimento das técnicas baseadas em análise de dados.

Zhu e Porter (2002) avaliam que o maior motivador para a prospecção tecnológica (*technological forecasting*, TF em inglês) é a competição econômica, que demanda inovações que precisam ser planejadas e priorizadas. Empresas grandes e pequenas dependem de inovações tecnológicas e, portanto, de análises de tecnologias para seus produtos e das tecnologias de empresas concorrentes no mercado. Contudo, mesmo em face à tamanha importância, normalmente, as análises são feitas de modo empírico e baseadas em opiniões de *experts*, com pouco investimento em técnicas.

Ernst (1997) mostrou que o desempenho de uma tecnologia ao longo do tempo segue a trajetória de uma curva-S, em que podem ser identificados quatro estágios possíveis de desenvolvimento da tecnologia. A figura abaixo exemplifica a curva, com base em um indicador de patentes acumuladas ao longo do tempo em função do investimento em pesquisa e desenvolvimento.

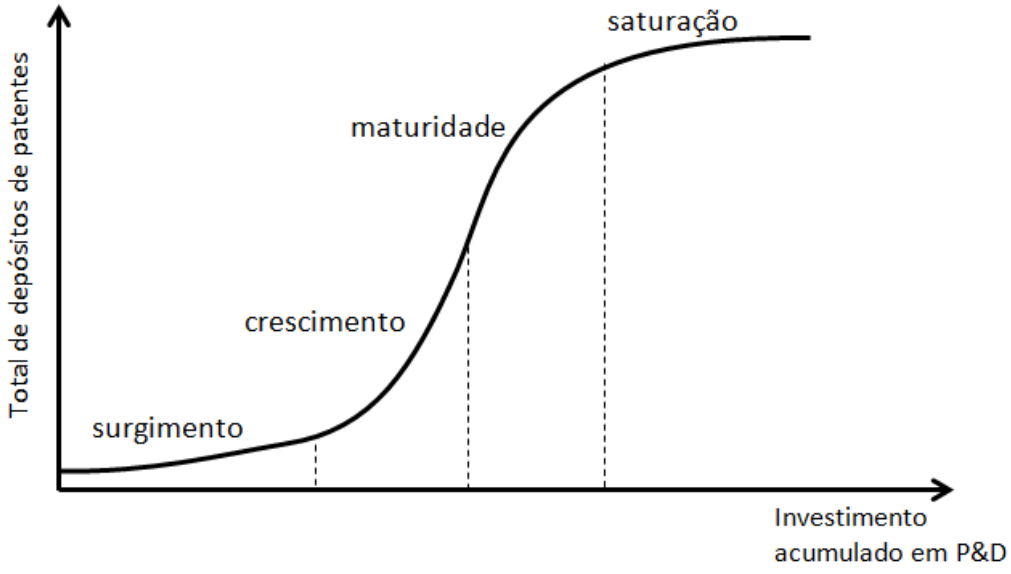


Figura IV.1 Curva-S conceitual do ciclo de vida de uma tecnologia

Segundo análise de Ernst (1997), a curva mostra que os investimentos em desenvolvimento dão maior retorno nos estágios iniciais da tecnologia. Quando esta atinge a saturação, muito investimento já foi realizado e grandes montantes precisam ser adicionados para novas evoluções marginais.

Yoon et al (2014) explicam que diversas curvas-S de crescimento podem ser usadas, seguindo modelos como Gompertz, Logístico ou Fisher Pry, utilizando-se o número de patentes acumulado ao longo do tempo como o dado básico para traçar a curva. De acordo com Meyer, Yung e Ausubel (1999), o mais usado é o modelo logístico, que possui uma equação do tipo apresentado a seguir, que representa um crescimento exponencial que passa a ser fortemente atenuado até que a curva atinge um patamar constante.

$$N(t) = \frac{k}{1 + e^{-\left[\frac{\ln(81)}{\Delta t} * (t - t_{m)}\right]}}$$

Na fórmula, *k* é a assíntota quando *t* tende a infinito, Δt é o período de tempo em que a curva cresce de 10% a 90%, chamado de duração característica, e t_m é o tempo no qual a curva chegou a 50% do crescimento, o tempo de ponto médio. Essa representação é interessante porque os parâmetros indicam diretamente características marcantes da curva, o que não ocorre com outras representações.

Qualquer que seja o modelo, é gerada uma predição da assíntota da curva, que seria o limite de patentes do assunto. A partir da posição atual e da assíntota, pode-se inferir o nível de maturidade da tecnologia e o tempo restante de desenvolvimento.

Gao et al (2013) acreditam que analisar apenas uma curva, portanto com base apenas em um indicador, seja ele qual for, é uma análise insuficiente. No entanto, Ernst (1997) defende que o uso de patentes é adequado na medida em que mede tanto o progresso tecnológico quanto a difusão no mercado de determinada tecnologia.

Outro modelo de desenvolvimento de tecnologia é o proposto por Utterback e Abernathy (1975). Os autores pregam que há três fases no desenvolvimento da tecnologia: a fase fluida, a fase de transição e a fase específica.

Na fase fluida, a empresa não tem clara percepção dos potenciais da tecnologia e faz experimentações com o mercado. Nessa fase, a mão de obra é muito especializada, os processos produtivos são imaturos e a diferenciação entre as empresas se dá nas características dos produtos diretamente.

Na fase de transição, começa a surgir padronização entre os produtos em função das respostas do mercado. Alguns produtos começam a dominar a preferência, e começa uma evolução para melhorias nesses produtos. Os demais produtos buscam tirar o diferencial. As empresas começam a se segmentar em função de melhorias de processos e redução de custos de produção.

Na fase específica, com o mercado estabelecido e produtos semelhantes, o foco das empresas é a redução de custos e ganhos de eficiência, dado que o diferencial do produto passa a ser menor. A tecnologia fica cada vez mais madura.

A figura a seguir ilustra as fases e evoluções em tecnologia e processos no modelo de Utterback e Abernathy.

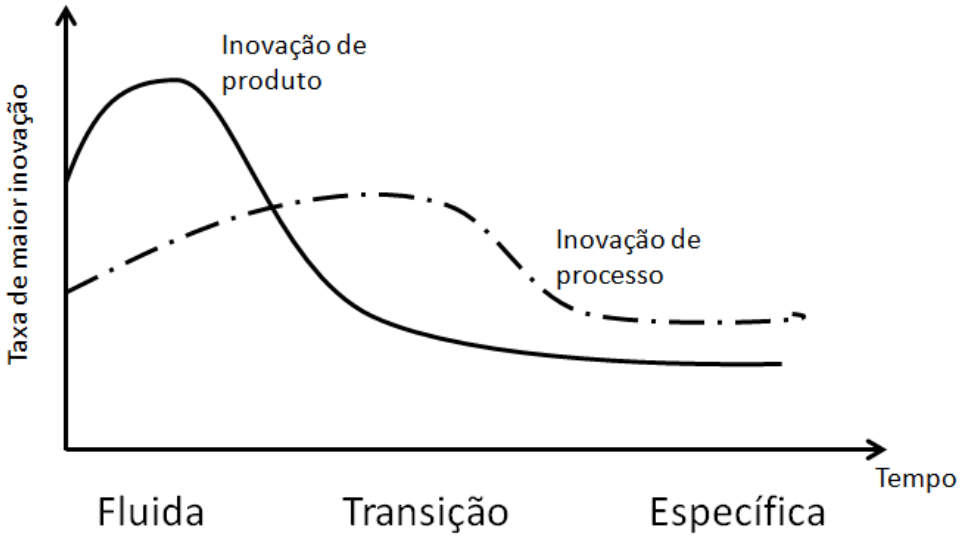


Figura IV.2 Fases do modelo de Utterback e Abernathy

Outra classificação de fase de tecnologia também é fornecida por Ernst (1997). Com base na quantidade anual de patentes depositadas, um padrão emerge, no qual é possível classificar o ciclo de vida tecnológico. A figura abaixo demonstra o padrão. Na fase 1, de surgimento, os primeiros produtos são colocados no mercado e há poucas empresas nesse mercado. Na fase 2, de consolidação, há um crescimento anual menor comparado ao fim da fase 1, em função de atividades de ajuste dos produtos de acordo com a resposta do mercado. Na fase 3, de penetração de mercado, a quantidade de depósitos cresce muito, com novas empresas entrando no mercado e empresas já existentes aumentando seu portfólio para se proteger da concorrência.

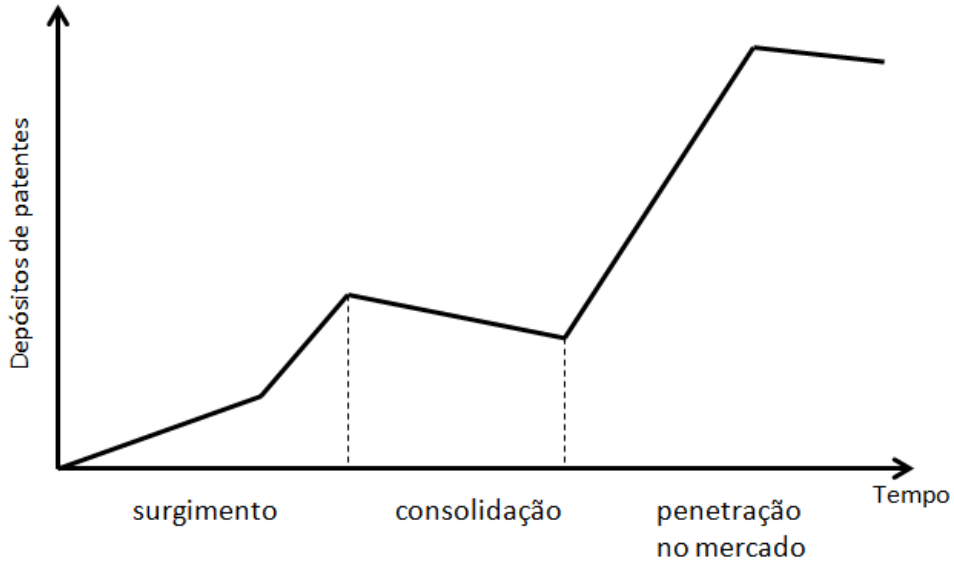


Figura IV.3 Desenvolvimento teórico da aplicação de patentes no ciclo de vida tecnológica

IV.1.2 Técnicas de prospecção

Existem diversas técnicas para se realizar prospecção tecnológica, que variam desde o uso de especialistas até simulações. Firat, Madnick e Woon (2008) citam mais de 30 técnicas, divididas em nove classes:

- opinião de *experts*: entrevistas, grupos de foco, método Delphi, todos visando obter de especialistas no assunto conhecimentos que podem levar à predição;
- análises de tendências: técnicas de extrapolação, *fitting* de curvas de crescimento com base em dados reais, todas baseadas em uso de dados quantitativos reais do passado para se avaliar dados futuros;
- métodos de inteligência e monitoramento: monitoramento de tecnologias, mineração de dados e análises de patentes, todos buscando dados que deem subsídios para análises de futuro;
- métodos estatísticos: análises bibliométricas de artigos e patentes, de correlação e de risco, buscando traçar paralelos e padrões de comportamentos não triviais nem mesmo para *experts*;
- modelagem e simulação: modelagem de agentes ou de sistemas, que tentam representar, no computador, simplificações da realidade que permitam prever o comportamento futuro;
- cenários: proposição de diferentes possíveis concepções de tecnologia, com base em assertivas e condições, que permitam avaliar cenários mais plausíveis entre todos gerados;

- métodos de decisão: a técnica mais usual é a abordagem por árvore de relevância, em que objetivos de uma tecnologia são desmembrados de forma hierárquica e as partes menores são avaliadas; a recomposição do todo ajuda a identificar possibilidades;
- métodos descritivos e matriciais: técnicas como analogias, *checklists* para identificação de impacto e *roadmapping* de tecnologias são usadas para se avaliar o futuro com base em um cenário ou em situações semelhantes;
- criatividade: técnicas de *brainstorming* e *workshops* visando extrapolações e pensamento coletivo.

Para este trabalho, usaremos uma técnica da classe de inteligência e monitoramento, que é a análise de patentes. Essa técnica permite avaliar uma série de aspectos interessantes da evolução tecnológica e possui vantagens como a facilidade de obtenção de dados em bases como a Derwent ou junto com o USPTO (*United States Patent and Trademark Office*), o departamento de patentes e marcas norte-americano.

Altuntas, Dereli e Kusiak (2015) explicam que dados de patentes podem ser usados para predizer o sucesso de tecnologias quando analisado seu ciclo de vida, potencial de difusão e escopo. Eles propõem um método de avaliação composto para comparar tecnologias, que leva em consideração a curva-S de crescimento logístico, a quantidade anual de citações para avaliar a velocidade de difusão da tecnologia, e a quantidade de códigos IPC para avaliar o escopo.

Ernst (1997) mostrou que a observação das aplicações de patentes ao longo do tempo segue um padrão que descreve o processo de difusão da tecnologia. Além disso, as patentes têm direta relação com o *market share* de empresas e com o comportamento do mercado. O autor defende ainda que os dados de patentes podem ser usados como indicador das atividades de pesquisa e desenvolvimento, podendo ser uma ferramenta de TFA.

Hall, Jaffe e Trajtenberg (2001) defendem que as citações entre patentes demonstram fluxos de conhecimento, dado que explicam em quais patentes uma nova invenção se baseou. Existe a ressalva que os dados possuem ruídos, há lentidão no conhecimento das patentes, problemas em classificações em códigos IPC, falhas em registros de datas ou mesmo apontamento incorreto de uma patente em família já existente. Contudo, há uma quantidade substancial de dados válidos e relevantes que justificam o uso das citações de patentes para realizar análises.

Angue, Ayerbe e Mitkova (2014) mostram como as patentes e suas informações básicas de classificação de área de conhecimento podem mostrar a proximidade tecnológica entre empresas, que podem levar a parcerias em novos desenvolvimentos de produtos ou a uma melhor compreensão de concorrentes.

Trajtenberg (1990) discute como valores relativos podem ser inferidos a patentes em função da quantidade de citações que ela possui, ou seja, quanto mais citada uma patente é, mais valiosa ela se torna, dado que apoiou ou originou diversas outras evoluções da tecnologia.

Usaremos também a técnica de análise de tendência com ajuste em curva de crescimento, como discutido na seção anterior. A partir dos dados históricos, será feito um ajuste em uma curva-S que projetará limites da tecnologia e indicará estágio atual. Gao et al (2013) defendem que esse método é fraco na medida em que assume que os fatores que levaram ao desenvolvimento dessa tecnologia precisam continuar do mesmo modo a fim da extrapolação ser válida. No entanto, o método tem apoio de diversos pesquisadores, como Altuntas, Dereli e Kusiak (2015), Ernst (1997), Yoon et al (2014), Ho et al (2014), e diversos outros trabalhos.

IV.2 Patentes

Hall, Jaffe e Trajtenberg (2001) explicam que, por definição, uma patente é um monopólio temporário e legal concedido a inventores para o uso comercial de invenções. Logo, patentes são instrumentos criados para proteger e incentivar a inovação. Segundo Bessen (2014), se uma companhia possui a exclusividade sobre uma inovação, pode receber lucros sobre essa inovação em patamares acima dos normais, premiando a inovação. E, ao explicitar o modo como a inovação se deu, por meio de textos técnicos e diagramas, o autor incentiva derivações dessa inovação em novos inventos. Contudo, durante o período de exclusividade, outrem não pode, em termos comerciais, fabricar, usar, distribuir, importar ou vender a invenção sem o consentimento do dono da patente, declara o USPTO (2015).

O USPTO (2015) esclarece também que as patentes têm um caráter local, em função do escritório em que são depositadas. Por exemplo, patentes depositadas no USPTO são válidas apenas nos Estados Unidos e em seus territórios e suas posses. Por conta disso, muitas vezes, uma patente também é depositada em diversos outros escritórios de patentes, de acordo com o país em que deseja proteger sua invenção; por exemplo, o escritório de patentes chinês ou japonês. Daí surge o conceito de família de patentes: um conjunto de patentes depositadas em um ou mais escritórios de patentes, mas que são praticamente idênticas, que representam uma única invenção. Para efeito de registro em bases de patentes, todas essas patentes fazem parte de uma mesma família. O mesmo vale quando uma patente sofre uma pequena alteração e é novamente depositada, referenciando o documento original.

A WIPO (*World Intellectual Property Organization*) é uma organização mundial de propriedade intelectual, responsável por manter diversos tratados e informações unificadas sobre as patentes. Por exemplo, o PCT (*Patent Cooperation Treaty*) mantém um conjunto de 148 países onde uma patente pode ser simultaneamente aplicada, segundo a WIPO (2015).

Para isso, determina um conjunto padrão de informações que devem ser usadas na solicitação das patentes, que permitem uma padronização das bases de patentes ao redor do mundo.

Uma informação muito importante padronizada pela WIPO é a IPC (*International Patent Classification*). Segundo a WIPO (2015), o código IPC foi estabelecido pelo Acordo de Strassburgo, em 1971, e normatiza a forma como mais de 70.000 áreas de tecnologia são codificadas para que cada patente seja classificada pela área de aplicação de tecnologia a que pertence. O código IPC, segundo documentação da WIPO (2014), é hierárquico e possui cinco níveis, indo do mais genérico ao mais específico: seção, classe, subclasse, grupo e subgrupo. Para exemplificar, veja o código H01C03/02, em que H é a seção, 01 é a classe, C é a subclasse, 03 é o grupo e 02 é o subgrupo. Esse código representa a área de tecnologia de resistores de metal não ajustáveis, feitos de fio ou fita, construídos para redução de autoindução, capacitância ou variação com a frequência; uma área muito específica de tecnologia, como se pode notar. Já as seções são os elementos mais genéricos possíveis e se dividem em oito tipos conforme a tabela abaixo.

Tabela IV.1 Seções do código IPC

Código da seção	Título
A	Necessidades humanas
B	Execução de operações; transportes
C	Química; metalurgia
D	Têxteis; papel
E	Construções fixas
F	Engenharia mecânica; iluminação; aquecimento; armas; explosão
G	Física
H	Eletricidade

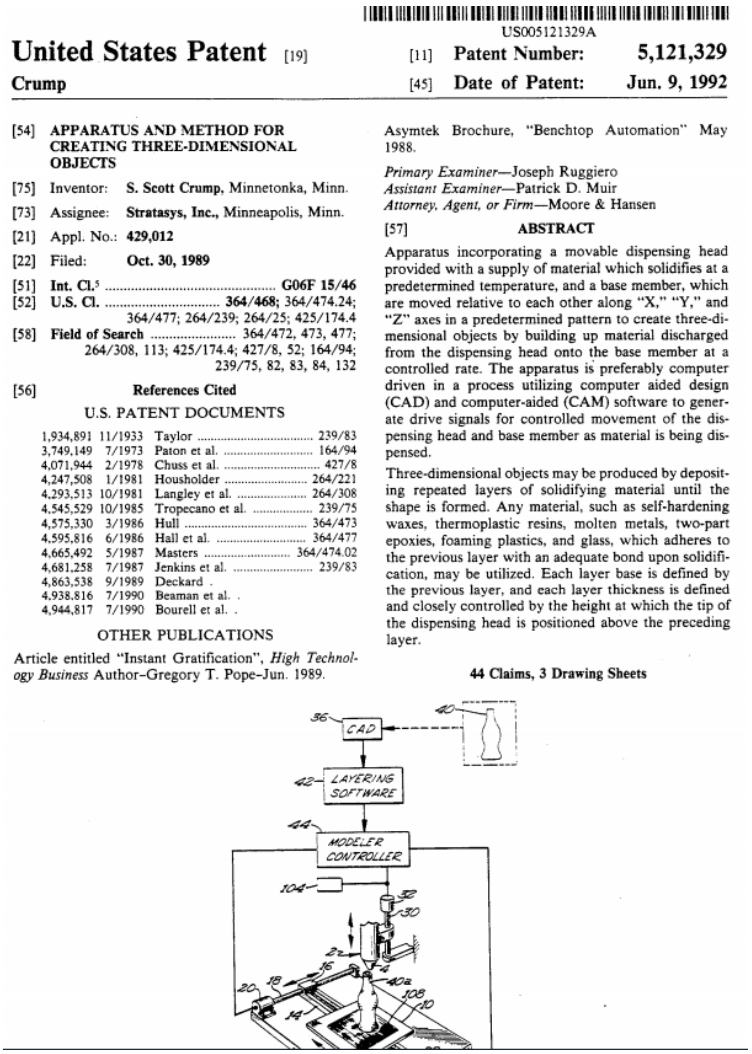
Uma vez aplicada a patente pelo requisitante, o USPTO (2015) informa que, para que haja a sua emissão, ela precisa obedecer a critérios de inovação (ser uma novidade), e não obviedade. Uma patente provisória e mais barata para o inventor pode ser concedida, pelo período de até 12 meses, até que a patente definitiva seja julgada por seus méritos, por uma comissão técnica, e aceita. A patente provisória não é avaliada por uma comissão julgadora e garante ao inventor uma data anterior àquela em que a patente definitiva é aceita, o que pode ser útil para eventuais litígios ou para permitir o início mais rápido da comercialização da invenção. Uma vez emitida, a patente, geralmente, tem validade de 20 anos, contados a partir da data de aplicação da patente.

A WIPO (2015) esclarece que uma patente depois de emitida pode ser licenciada para um terceiro por seu dono, por meio de um acordo entre as partes que vale por um determinado território, por certo tempo, a certo custo para quem licencia. Com isso, outra empresa tem a

licença para, por exemplo, fabricar e vender a invenção, e o dono da patente lucra com isso. Como exemplo, eventualmente, o dono da patente pode não ter condições de atender à demanda por seu produto em outro território ou país, e licencia a um parceiro local para que este atenda ao mercado demandante, pagando *royalties* ou parte dos lucros para o dono da patente.

Bessen (2014), no entanto, alerta que o excesso de litígios e alegações tem transformado o sistema de controle de patentes em um problema, principalmente para pequenas e médias empresas, que sofrem com assédios de empresas maiores da mesma área de atuação, que possuem produtos concorrentes. As empresas menores também possuem dificuldades para arcar com o alto custo legal para se defenderem desses processos e litígios. Tal situação é agravada em função de muitas patentes serem mal descritas ou serem vagas sob certos aspectos, dando margem às discussões e aos litígios.

Abaixo, um exemplo de uma patente tal como gerada no USPTO. Esta é a patente usada por Scott Crump ao registrar a invenção da tecnologia FDM para impressão 3D.



US005121329A

United States Patent [19]

Crump

[11] **Patent Number: 5,121,329**

[45] **Date of Patent: Jun. 9, 1992**

[54] **APPARATUS AND METHOD FOR CREATING THREE-DIMENSIONAL OBJECTS**

[75] Inventor: **S. Scott Crump**, Minnetonka, Minn.

[73] Assignee: **Stratasys, Inc.**, Minneapolis, Minn.

[21] Appl. No.: **429,012**

[22] Filed: **Oct. 30, 1989**

[51] **Int. Cl.**[5] **G06F 15/46**

[52] **U.S. Cl.** **364/468**; 364/474.24; 364/477; 264/239; 264/25; 425/174.4

[58] **Field of Search** 364/472, 473, 477; 264/308, 113; 425/174.4; 427/8, 52; 164/94; 239/75, 82, 83, 84, 132

[56] **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

1,934,891	11/1933	Taylor	239/83
3,749,149	7/1973	Paton et al.	164/94
4,071,944	2/1978	Chuss et al.	427/8
4,247,508	1/1981	Housholder	264/221
4,293,513	10/1981	Langley et al.	264/308
4,545,529	10/1985	Tropecano et al.	239/75
4,575,330	3/1986	Hull	364/473
4,595,816	6/1986	Hall et al.	364/477
4,665,492	5/1987	Masters	364/474.02
4,681,258	7/1987	Jenkins et al.	239/83
4,863,538	9/1989	Deckard .	
4,938,816	7/1990	Beaman et al. .	
4,944,817	7/1990	Bourell et al. .	

OTHER PUBLICATIONS

Article entitled "Instant Gratification", *High Technology Business* Author–Gregory T. Pope–Jun. 1989.

Asymtek Brochure, "Benchtop Automation" May 1988.

Primary Examiner—Joseph Ruggiero
Assistant Examiner—Patrick D. Muir
Attorney, Agent, or Firm—Moore & Hansen

[57] **ABSTRACT**

Apparatus incorporating a movable dispensing head provided with a supply of material which solidifies at a predetermined temperature, and a base member, which are moved relative to each other along "X," "Y," and "Z" axes in a predetermined pattern to create three-dimensional objects by building up material discharged from the dispensing head onto the base member at a controlled rate. The apparatus is preferably computer driven in a process utilizing computer aided design (CAD) and computer-aided (CAM) software to generate drive signals for controlled movement of the dispensing head and base member as material is being dispensed.

Three-dimensional objects may be produced by depositing repeated layers of solidifying material until the shape is formed. Any material, such as self-hardening waxes, thermoplastic resins, molten metals, two-part epoxies, foaming plastics, and glass, which adheres to the previous layer with an adequate bond upon solidification, may be utilized. Each layer base is defined by the previous layer, and each layer thickness is defined and closely controlled by the height at which the tip of the dispensing head is positioned above the preceding layer.

44 Claims, 3 Drawing Sheets

Figura IV.4 Exemplo de patente registrada no USPTO

Capítulo V - Metodologia

Este capítulo discorre sobre a metodologia que foi aplicada no desenvolvimento do trabalho. Foi realizado um estudo exploratório com base bibliométrica; os dados foram adquiridos em uma base de dados de patentes e, em seguida, foram pré-processados em uma série de etapas até a montagem final das redes sociais. As redes sociais foram tratadas no *software* Pajek, de modo a completar o pré-processamento necessário para as análises demonstradas no capítulo seguinte.

V.1 Bibliometria

Daim et al (2006) definem que bibliometria é a medição de textos e informações. A bibliometria ajuda a explorar e analisar grandes conjuntos de dados, e a identificar padrões; e a análise de autores e citações é uma das ferramentas usadas. O estudo de áreas de conhecimento e seus principais autores, bem como de qualquer tipo de informação a partir dos dados textuais de patentes ou artigos é considerado bibliometria. Portanto, o trabalho aqui reportado é um estudo que usa bibliometria para analisar os dados adquiridos sobre as patentes e suas características, dentro do escopo do assunto de impressão 3D.

V.2 Aquisição dos Dados

Uma busca de patentes depositadas até o ano 2013 foi efetuada na base *Derwent Patent Index*, da *ISI Web of Knowledge*, em 19 de agosto de 2014. Desse modo, a base fica fixa e completa até o ano 2013, permitindo novas buscas caso algum pesquisador se interesse em refazer o estudo para validar os dados ou exercitar a metodologia aqui aplicada.

Após o estudo de alguns trabalhos de cunho de revisão da tecnologia, *reviews*, tais como o de Kruth, Leu e Nakagawa (1998) ou o de Pham e Gault (1998), foi usada a seguinte *string* de busca no campo tópico, baseada em tecnologias de manufatura aditiva: "rapid prototyping" or "rapid manufacturing" or "additive manufacturing" or "3d printing" or "3-d printing" or "three dimensional printing" or "fused deposition modeling" or "stereolithography " or "stereo-lithography" or "selective *laser* sintering" or "laminated object manufacturing" or "ink jet printing" or "*laser* cladding" or "direct writing" or "Direct metal deposition" or "direct metal *laser* sintering" or "selective *laser* melting" or "*laser* engineered net shaping" or "patternless casting manufacturing" or "electron beam selective melting" or "digital Light Processing" or "Electron Beam Freeform Fabrication" or " Electron-beam melting" or "Selective heat sintering".

Essa busca retornou 6.636 registros, compostos por campos com códigos padronizados por duas letras. Cada registro obtido na busca identifica uma família de patentes no campo **PN**: uma série de códigos de patentes separados por “;” que representam a mesma invenção mas

que possui diversos códigos em função de terem sido realizados diversos depósitos em diferentes escritórios de patentes. Como ressaltado no capítulo IV, é uma prática comum para fins de proteção intelectual em diversos mercados, dado que cada escritório de patentes possui uma região determinada de atuação.

Cada registro também possui um título no campo **TI**, um resumo no campo **AB**, os autores no campo **AU**, os depositantes no campo **AE**, as datas de publicação no campo **PD**, as patentes citadas pela família no campo **CP**, os códigos IPC das áreas de conhecimento no campo **IP** e outros campos identificadores da *Derwent*. A seguir, é apresentado um exemplo de registro obtido.

PT P
PN US2013189435-A1; US8778252-B2
TI Three-dimensional printing system for fabricating three-dimensional object, has printhead attached to arm at printhead location receiving control signals to direct printed volume of material toward printing surface
AU MACKIE T R; PATTERSON N J; COX B L; SCHUMACHER N D; PETRY G W
AE MACKIE T R (MACK-Individual); PATTERSON N J (PATT-Individual); COX B L (COXB-Individual); SCHUMACHER N D (SCHU-Individual); PETRY G W (PETR-Individual); WISCONSIN ALUMNI RES FOUND (WISC-C)
GA 2013-L98426
AB NOVELTY - The system has a tool movement assembly comprising a tool support arm (36) extending radially from an axis (28) to a printhead location.
DC A85 (Electrical applications); P42 (Spraying, atomising); S06 (Electrophotography and Photography); V04 (Printed Circuits and Connectors)
MC A11-B05D; A12-E07A; S06-K07A; V04-Q30F; V04-Q30T; V04-R05E; V04-T03J
IP B05C-011/00; B05D-001/26; B29C-067/00
PD

Patent Number	Publ. Date	Main IPC	Week	Page Count	Language
US2013189435-A1	25 Jul 2013	B05D-001/26	201351	Pages: 11	English
US8778252-B2	15 Jul 2014	B29C-067/00	201446		English

AD

US2013189435-A1	US355400	20 Jan 2012
US8778252-B2	US355400	20 Jan 2012

PI

US355400	20 Jan 2012

CP

US8778252-B2	US8226395-B2	PAX C (PAXC-Individual); SMITH Z (SMIT-Individual); MAYER A (MAYE-Individual); PETTIS N (PETT-Individual)	PAX C; SMITH Z; MAYER A; PETTIS N
	US2001035886-A1	ELESYS INC (ELES-Non-standard)	BRADSHAW G L; COVERT M W; JONES R Q; SORENSEN M K; UNTER J E
	US2008042321-A1	Z CORP (ZZZZ-Non-standard)	RUSSELL D; HERNANDEZ A; KINSLEY J; BERLIN A

UT DIIDW:2013L98426
ER

Figura V.1 Exemplo de registro obtido após busca na base *Derwent*

Foi realizado um *download* de todos os registros no formato HTML, com todos os campos existentes em cada registro. O acesso liberado pela base de dados *Derwent* permitia apenas o *download* de 500 registros por vez, de modo que foi necessário baixar 14 arquivos HTML que, em seguida, foram consolidados em um único arquivo Excel.

V.3 Pré-processamento e Montagem da Rede de Citação

O processo de pré-processamento e montagem das redes de citação ocorre conforme o fluxograma.

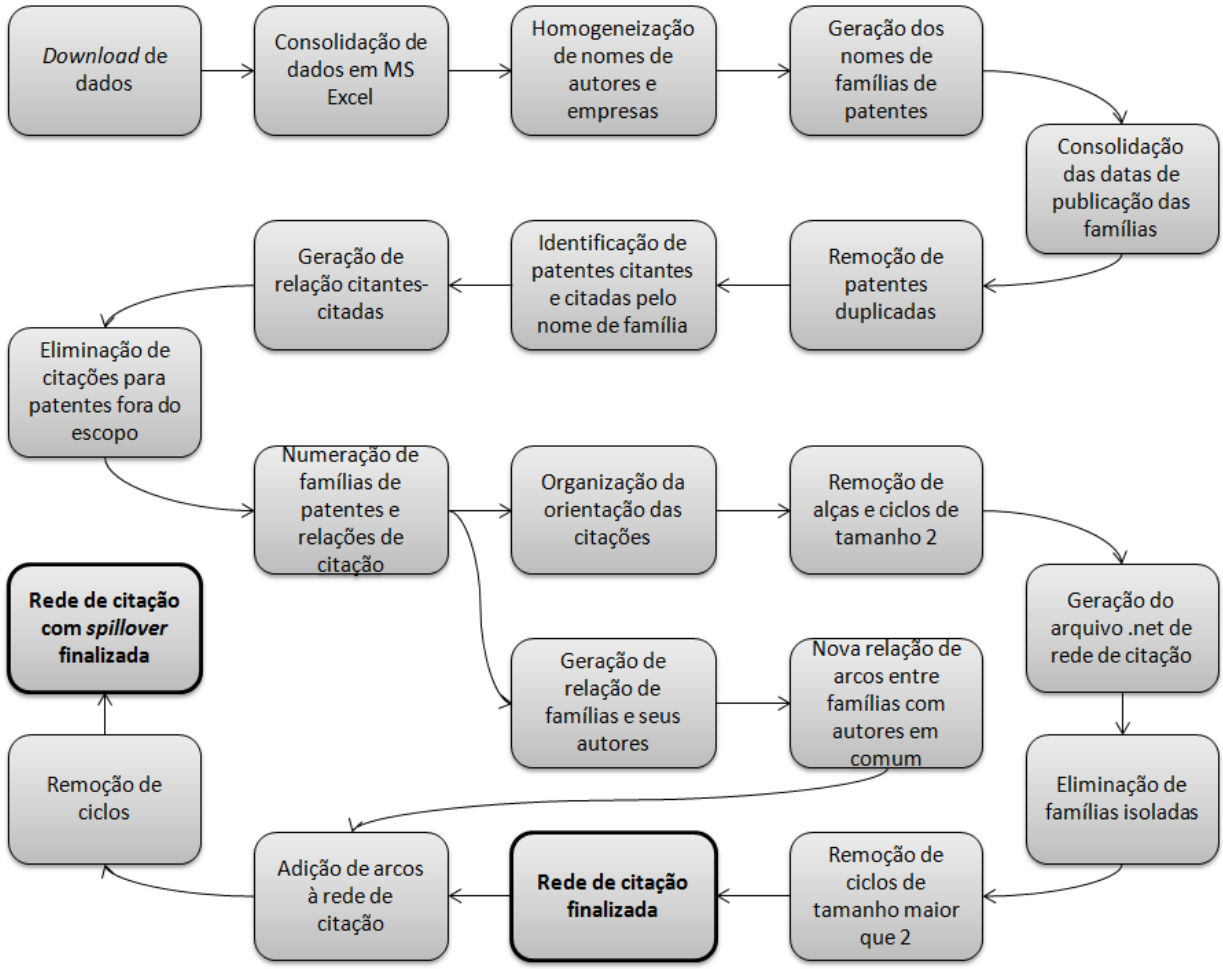


Figura V.2 Fluxograma de pré-processamento e montagem das redes de citação

A criação do arquivo Excel com todos os registros em um formato de base de dados permitiu uma série de pré-processamentos nesses dados. Em particular, foi necessário, inicialmente, realizar uma limpeza de dados. Buscou-se homogeneizar a lista de nomes de empresas e autores para, por exemplo, consolidar depositantes com nomes "IND TECHNOLOGY RES INST (ITRI-C)" e "IND TECHNOLOGY RES INST CO LTD (ITRI-C)" como sendo o mesmo depositante. Essa ação visou facilitar análises posteriores.

Para esse fim, foi usada a ferramenta *OpenRefine*[8], um *software* livre baseado em um projeto do Google chamado *Google Refine*. Essa ferramenta admite uma base de dados em formato tabular e fornece uma série de funções de consolidação e transformação de dados, desde a limpeza de espaços em branco ao final de campos até o reconhecimento fonético de

[8] Disponível em http://openrefine.org/

dois campos que contêm textos distintos, mas possuem sons semelhantes. A figura V.3 mostra um exemplo de uso da ferramenta para a consolidação de nomes de empresas.

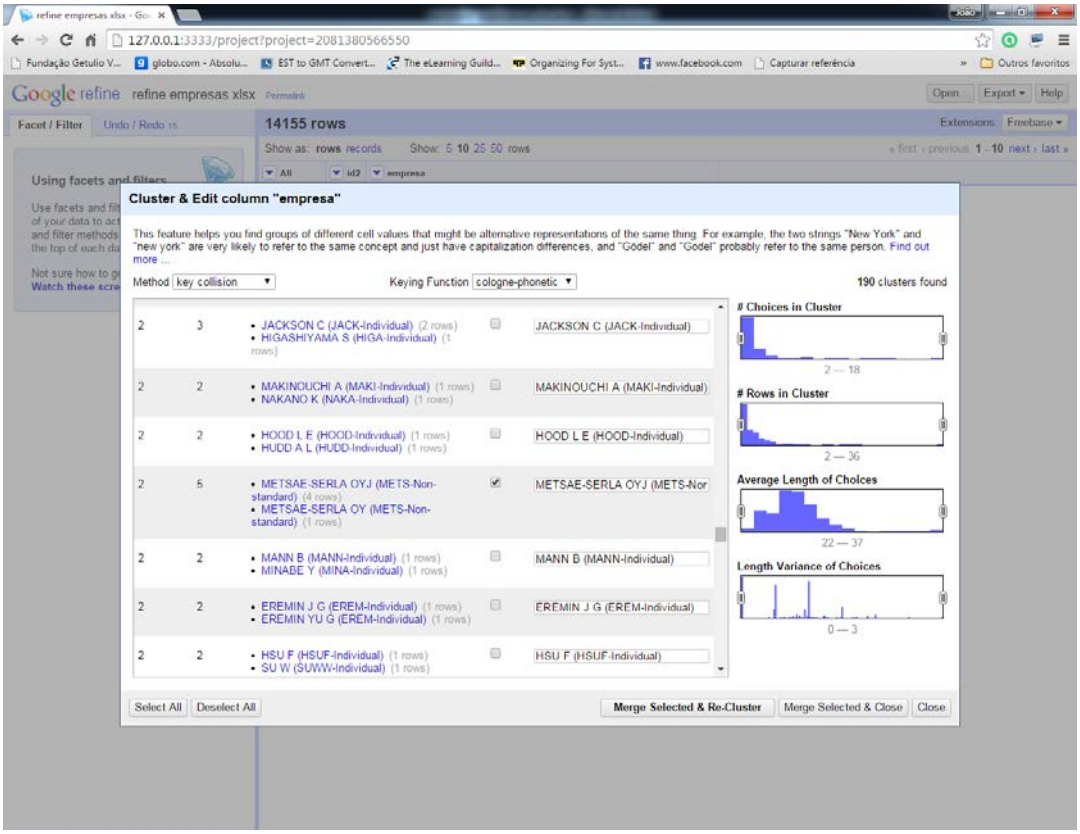


Figura V.3 Interface de uso da ferramenta *OpenRefine*

Depois do uso da *OpenRefine*, as empresas foram organizadas por ordem alfabética, e um processo manual de análise foi feito para que nomes diferentes da mesma empresa fossem ajustados quando reconhecidos. Por exemplo, “IBM Corp (IBMC)” é a mesma empresa que “International Business Machines Corp (IBMC)” ou “International Business Machines Corp (IBMC-C)”. Diversos casos de escrita do nome da empresa com variações foram unificados, inclusive, quando filiais da mesma empresa depositaram patentes com nomes diferentes, como “Ford Motors France” e “Ford Motors Co.”. A lista de empresas foi montada contendo tanto o nome das empresas enquanto depositantes (registro AE da base *Derwent*) como enquanto depositantes de uma patente citada (registro CP da base *Derwent*), pois, no primeiro caso, o código que segue o nome é mais curto que no segundo: por exemplo, “KHS AG (SALZ)” e “KHS.AG(SALZ-C)”.

Processo de limpeza semelhante foi realizado para autores das patentes. No entanto, para nomes próprios, o processo é muito mais difícil. Reconhecer nomes da mesma pessoa com escritas diferentes ou erros de ortografia é bastante complicado. Poucos casos puderam ser unificados, e a limpeza não teve a mesma eficiência que no caso das empresas.

Por fim, a última ação de saneamento na base é a verificação das datas de publicação das patentes. Para cada família, é preciso determinar a data de publicação para as análises de *spillover* e de volumetria. Segundo a base da *Derwent*, o campo PD contém a data de publicação das patentes de cada registro. No entanto, muitas patentes não têm esse campo preenchido. Logo, para cada família, deve ser usada a menor data constante no campo PD como a data de publicação da família.

Foram encontrados 10 casos em que o campo PD estava vazio. Nessas situações, recorreu-se a uma busca, no Google, pelo código de alguma patente da família para tentar encontrar a data de publicação e assim completar o dado faltante. Essa ação teve sucesso em alguns casos. Ainda assim, em casos de patentes russas ou japonesas da década de 1970, o Google não encontrou a informação. Para esses poucos casos, foi usada, como data de publicação, a data de depósito, registrada no campo PI da base *Derwent*, acrescida de dois anos, uma estimativa do tempo que o processo de publicação teria demorado.

Uma vez realizada a limpeza nos dados, o processo de pré-processamento continuou para a geração do nome da família de patentes. Foi usado o conteúdo do campo PN de cada registro. No caso de uma família com um único código de patente, este ficou como o código da família. Quando a família possui mais de um código, usou-se o primeiro código como identificador.

Nesse momento, foi possível buscar patentes que apareciam em mais de uma família. Foram detectados 13 códigos de patentes (0,05% do total de códigos distintos de patentes) que apareceram em mais de um registro da base. Nesse caso, a base foi retrabalhada para que cada código aparecesse apenas uma vez no campo PN, considerando todos os registros da base. Todas as referências em que os códigos repetidos apareceram como patentes citadas no campo CP foram mantidas.

Houve casos em que a patente repetida aparecia como citante no registro CP. Esses registros foram mantidos, e foram removidas as referências em registros em que a patente constava apenas no campo PN. Durante o processo de detecção de duplicatas, três registros foram inteiramente removidos porque as patentes já estavam em outros registros como parte de uma família maior, de modo que a base se reduziu de 6.636 para 6.633 registros úteis. Foi necessário, nesse momento, retornar e atualizar a lista de nomes de famílias.

O passo seguinte foi gerar uma relação de citantes e seus citados. Usando os valores do campo CP da base e eliminando linhas em branco, chegou-se a uma relação de 9.699 pares citante-citado. No entanto, o registro CP relaciona cada patente da família como citante, e esta, por sua vez, relaciona-se com qualquer patente de qualquer outro registro. Para a análise, é fundamental enxergar as citações entre as famílias, de modo que é necessário alterar o nome da patente citante pelo nome da primeira patente da família, que foi adotado

como o nome da família, o identificador universal do registro. A mesma operação precisa ser feita para a patente citada, trocando para o nome da família.

Nesse processo, é possível que patentes citadas não estejam em nenhuma família da base que foi obtida. Pode, por exemplo, existir uma citação de uma patente de embalagem do suprimento da impressora que está fora da base obtida. Desse modo, foram eliminadas citações para patentes que estavam fora do escopo da base de trabalho.

Com o objetivo de gerar o arquivo .net de uma rede de citação que possa ser consumido pelo Pajek, os identificadores de família são também numerados para formar a seção de vértices do arquivo da rede. Os arcos da rede que representam as relações de citação entre as famílias precisam então ser também numerados, usando as mesmas referências numéricas dos vértices. Essa etapa foi realizada com o uso do comando PROCV do Excel.

Os arcos foram registrados na forma citada-citante, de modo que a orientação dos arcos representa o sentido do fluxo de informação. Desse modo, ao se olhar o diagrama da rede, percebem-se informações fluindo de diversas famílias para contribuir para a inovação registrada em uma nova família.

Antes de gerar a lista definitiva de arcos do arquivo da rede, foi feito um processamento para identificar alças (*loops*) e pequenos ciclos. Muitas propriedades das redes só são válidas para redes acíclicas, de modo que a remoção de ciclos é fundamental. Foram removidos arcos em que o citante era igual ao citado, eliminando os *loops*. Isso ocorreu diversas vezes, quando uma patente citava outra patente anterior da mesma família. Essa situação foi criada em função do processo de identificação única da família e precisou ser consertada. A figura V.4 exemplifica essa situação: se P3 cita P2, em nossa representação, há um arco de P1 para P1, um *loop* que precisa ser retirado.

A remoção de pequenos ciclos também foi feita nessa etapa de pré-processamento. Ciclos de tamanho 2, quando uma família A cita outra família B, que, por sua vez, cita a família A, foram criados no processo de geração dos arcos. A imagem exemplifica como isso ocorre. A patente P4, da família P1, pode citar a patente P5, da família P5. No entanto, a patente P8, da família P5, pode citar P1. Em nossa representação, há um arco de P1 para P5 e outro arco de P5 para P1, criando um *loop*.

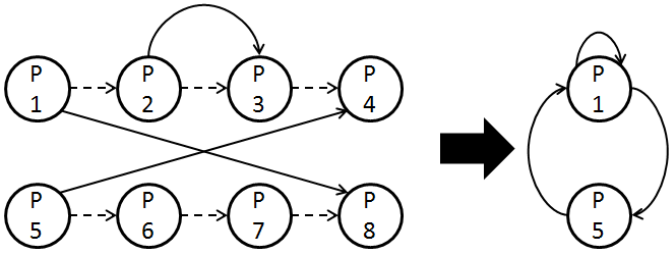


Figura V.4 Exemplos de ciclos removidos no pré-processamento

A remoção dos ciclos de tamanho 2 foi feita da seguinte forma: foi gerada uma relação de arcos com a orientação oposta à original, no sentido citante-citada. Quando um arco no sentido citante-citada era igual a um arco no sentido citada-citante, um deles era removido. O critério utilizado foi remover o arco que ia da família mais nova para a mais antiga, mantendo apenas um arco, no sentido citada-citante, em que a patente citante era mais recente que a patente citada.

Eliminados os ciclos de tamanho 2, foi gerada a relação final de arcos, criando o arquivo .net para uso no Pajek.

Quando a rede foi carregada no Pajek, duas situações ocorreram: muitas famílias estavam isoladas, sem se citar ou serem citadas, e foram detectados ciclos de tamanho maior que 2.

Para eliminar as famílias isoladas, sem citações, foi criada, no Pajek, uma partição de grau, e, a partir desse ponto, uma nova rede com todos os vértices com grau maior que zero.

Para detectar os ciclos, foi criada, no Pajek, uma partição com componentes fortes e periódicas. Os ciclos foram quebrados por meio da remoção do menor número possível de arcos que eliminassem o ciclo, seguindo um critério arbitrário, caso a caso.

Com isso, chegamos a uma rede de citação de patentes com 2.801 vértices, em que cada vértice representa uma família de patentes (identificada pelo primeiro membro da família) e os arcos indicam as relações de citação entre as famílias, mostrando o fluxo de conhecimento. Essa rede será melhor descrita e analisada posteriormente, com o uso das técnicas de redes sociais. A figura V.5 mostra a redução da quantidade de famílias desde os dados originais baixados até aqueles que permaneceram na rede de citação de patentes (42%).

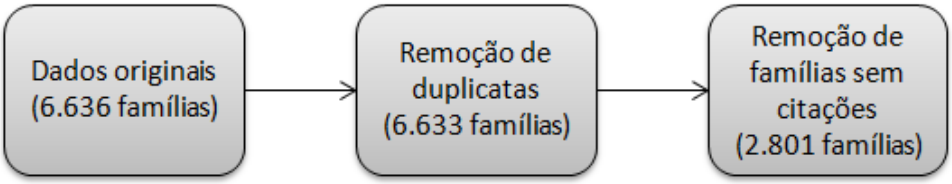


Figura V.5 Redução da quantidade de dados úteis para análise na rede de citação

V.4 Demais redes

Neste trabalho, também são analisadas as relações entre as empresas depositantes das patentes e as relações entre a rede de citação e a rede de citação com *spillover* (conhecimento tácito).

A rede de *spillover* é montada pela agregação de arcos entre famílias que tiveram autores em comum entre suas patentes, como apresentado no capítulo III.

Para adicionar esses arcos, foi necessário montar uma relação de famílias com seus autores e suas datas de publicação. Essa relação foi alimentada, no MS Access, como uma tabela de banco de dados relacional. A estrutura da tabela com um extrato dos dados está na figura V.6.

arestas-autores | Consulta1

id citante	autor	data
1	QIAN L	07/08/2013
1	YU J	07/08/2013
2	NIE J	17/07/2013
3	YIN Y	04/09/2013
3	WANG C	04/09/2013
3	SHEN Q	04/09/2013
3	CHEN S	04/09/2013
4	LI H	14/08/2013
5	LIU J	31/07/2013
5	YANG X	31/07/2013
5	WEI X	31/07/2013
5	ZHANG W	31/07/2013
5	GU L	31/07/2013
5	HUANG B	31/07/2013
6	CHEN Y	31/07/2013
6	LI X	31/07/2013
6	YU S	31/07/2013
7	CHEN Y	31/07/2013
7	LI X	31/07/2013
7	YU S	31/07/2013

Figura V.6 Extrato dos dados carregados em tabela para cômputo de *spillover*

Uma consulta foi realizada, com um autorrelacionamento, buscando relações entre famílias com autores em comum e em que as datas de publicação fossem respeitadas.

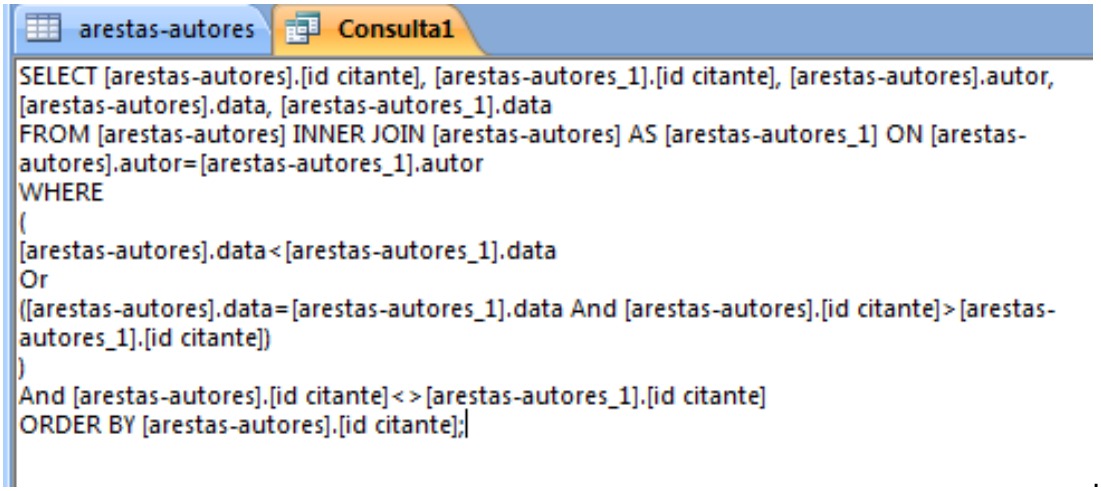
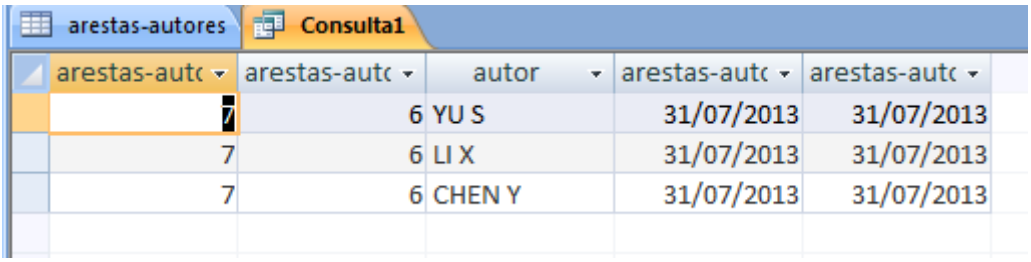


Figura V.7 Consulta para gerar a relação de arcos de *spillover*

Para o extrato de dados mostrado, o resultado seria o seguinte.



arestas-autc	arestas-autc	autor	arestas-autc	arestas-autc
7	6	YU S	31/07/2013	31/07/2013
7	6	LI X	31/07/2013	31/07/2013
7	6	CHEN Y	31/07/2013	31/07/2013

Figura V.8 Resultado da consulta para o extrato de dados demonstrado

O resultado completo da consulta foi levado, novamente, para o Excel para remoção de pares citada-citante iguais e para junção com os arcos já existentes da rede de citação de 2.801 vértices. Os arcos que continham vértices que não estavam entre os 2.801 já existentes foram removidos. Essa relação maior de arcos passou pelo mesmo processo de remoção de alças e ciclos de tamanho 2, no Excel. A rede gerada foi carregada no Pajek e também passou pelo tratamento de remoção de ciclos de tamanhos maiores.

A rede de citação com *spillover* ficou, portanto, mais densa, mas com a mesma quantidade de vértices, para que se possa avaliar, diretamente, o impacto da agregação da transferência do conhecimento tácito sobre a rede que contém apenas o conhecimento explícito. A rede será melhor descrita, juntamente com tal avaliação, no capítulo VI.

Outra rede que será útil é a rede de citação entre empresas depositantes. Seguindo processo análogo ao da rede de citação entre famílias de patentes, foi montada uma rede em que os vértices são as empresas e os arcos representam citações entre as empresas. Desse modo, poder-se-á verificar quais empresas são mais referenciadas ou aproveitam mais os trabalhos de outras, o que pode até indicar parcerias ou fusões, entre outras propriedades.

Portanto, serão três as redes analisadas ao longo do próximo capítulo:

1. Rede de citação;
2. Rede de citação com *spillover*;
3. Rede de citação entre depositantes.

Capítulo VI - Resultados

Neste capítulo, serão mostradas análises feitas a partir das redes de citação, citação com *spillover* e citação entre depositantes. Diversas técnicas de redes sociais, mostradas no capítulo III, serão usadas para extrair informações úteis.

VI.1 Análises da Rede de Citação

A primeira análise que pode ser feita é sobre a quantidade anual de novas famílias de patentes geradas sobre impressão 3D. A base contém 6.633 famílias. A figura VI.1 mostra a distribuição dessas novas famílias ao longo do tempo.

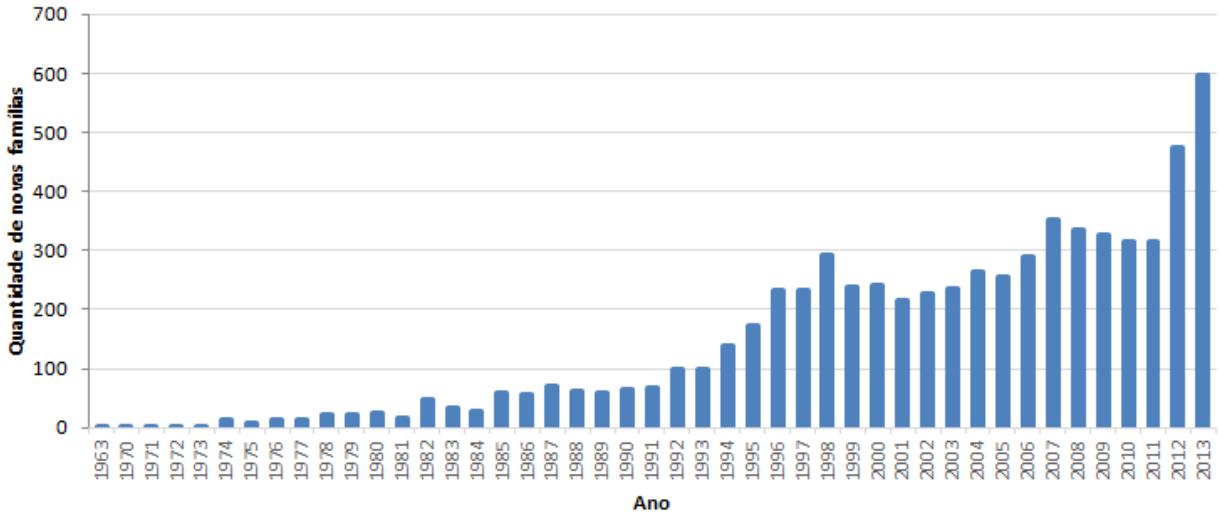


Figura VI.1 Histórico de novas famílias de patentes de impressão 3D por ano

Podemos perceber que há patentes muito antigas, uma longa cauda à esquerda do gráfico. No entanto, conforme exposto nas seções anteriores, as primeiras patentes de stereolitografia ou FDM datam da década de 1980. Isso se deve ao fato de a tecnologia de impressão 3D ser derivada da impressão jato de tinta, havendo, inclusive, uma vertente de impressão 3D chamada "*ink jet printing*". No entanto, parece estranho mais de 100 patentes da década de 70 aparecerem em um estudo de tecnologia cujo embrião se desenvolveu na década de 80.

A partir das produções anuais de novas famílias de patentes, pode ser gerado um gráfico da produção acumulada de famílias de patentes. A produção acumulada ao longo do tempo permite a análise do nível de maturidade da tecnologia, como ilustrado no capítulo 2. Foi aqui usado o modelo de crescimento logístico, e foi obtida uma curva como mostrada na figura

VI.2. Para esse fim, foi usado o *software Loglet Lab*[9], usado em trabalhos como os de Meyer, Yung e Ausubel (1999), de Ho et al*.* (2014), e o de Milanez et al*.* (2014). O *software* faz uma série de simulações com pequenas variações do *dataset* a partir dos erros encontrados no processo de *fitting* dos dados, gerando uma curva principal e um espectro de curvas com intervalo de confiança de 90%. A assíntota calculada é de 9.580 patentes, com 50% das patentes tendo sido desenvolvidas até 2008 (o tempo médio da curva, que é seu ponto de inflexão).

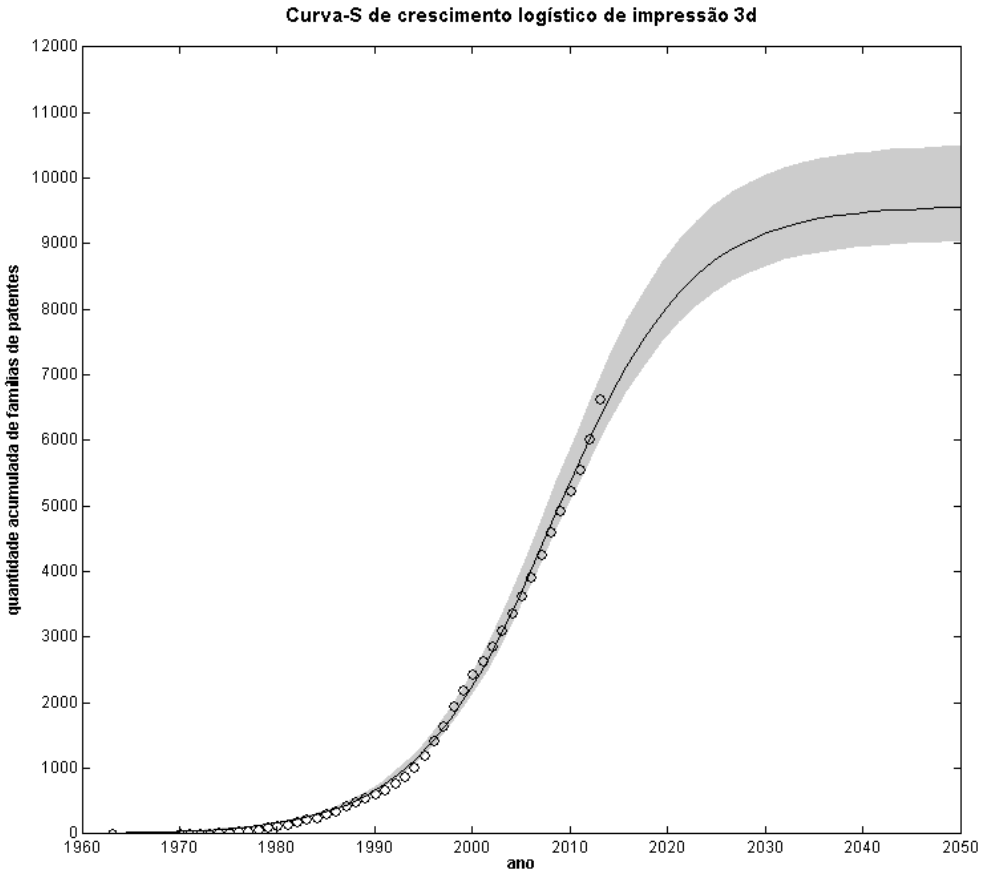


Figura VI.2 Modelo de crescimento logístico aplicado às patentes de impressão 3D

O total de patentes obtido até 2013, de 6.633 patentes, quando comparado à assíntota calculada, sugere que a tecnologia está no estágio de maturidade e se aproxima do estágio de saturação, o que não condiz com o *Hype Cycle 2015* de Gartner, apresentado na introdução e com a expectativa do pesquisador, mostrando-se um resultado inesperado.

Avaliando a rede de citação, podemos observar uma série de propriedades. A rede possui 2.801 vértices, 5.764 arcos, uma densidade média de 0,0007 e grau médio dos vértices igual a 4,11, considerados os graus de *output* e *input* somados. A rede está mostrada a seguir e possui uma componente gigante, com 2.328 vértices, 83% do total de vértices da rede.

[9] Disponível em http://phe.rockefeller.edu/LogletLab/

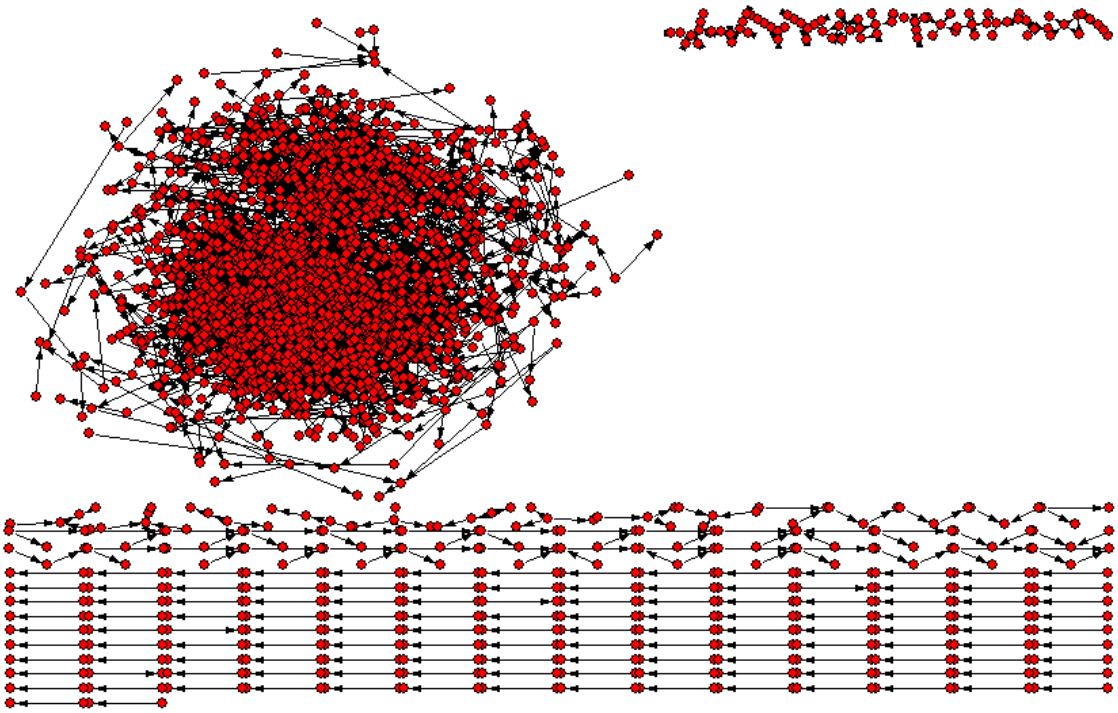


Figura VI.3 Rede de citação

As top 10 famílias com maior grau de *output*, as mais citadas, estão descritas abaixo.

Tabela VI.1 Top 10 graus de *output* da rede de citação

Patente	Ano de publicação	Grau de *output*
EP171069-A2	12/02/1986	84
EP404493-A2	27/12/1990	69
EP431924-A2	09/06/1991	63
EP604023-A	29/06/1994	60
EP167247-A	08/01/1986	39
EP723999-A	31/07/1996	38
EP508153-A	29/09/1992	33
WO9325336-A	23/12/1993	29
US5041161-A	20/08/1991	28
DE3640359-C2	27/05/1987	27

Todas são famílias do final da década de 80 ou início da década de 90, o que condiz com a literatura sobre o assunto. No entanto, ao avaliar as descrições das patentes, a patente EP404493-A2 tem o seguinte título: *"Hot melt ink compsn. for ink jet printing - comprise colourant, a binder and a propellant with or without liq. crystalline materials"*. Ela foi desenvolvida pela Xerox, que é uma empresa com pouca tradição em impressão 3D e, entre as descrições da patente, está: "*USE - For ink jet printing, esp. thermal ink jet printing processes. @(15pp)*". Portanto, há forte indício que é uma patente de tinta para impressão jato de tinta, não relacionada à impressão 3D.

Associando essa informação ao resultado inesperado da curva-S de crescimento e à grande quantidade de patentes na década de 1970, sugere-se que há dados que não são específicos de impressão 3D dentro da base, levando a análises equivocadas. Uma avaliação dos códigos IPC pode esclarecer as áreas a que as patentes pertencem e ajudar a corroborar a hipótese de dados em excesso na base.

A avaliação consiste em checar as classes e subclasses dos códigos IPC com maior frequência na base. A tabela a seguir mostra as top 10 classes.

Tabela VI.2 Top 10 classes dos códigos IPC

Classe	Quantidade	%
B41	8208	28,69%
C09	4613	16,12%
C08	2039	7,13%
G03	1291	4,51%
B29	1136	3,97%
D06	942	3,29%
H01	775	2,71%
D21	711	2,49%
G02	707	2,47%
B32	654	2,29%

É usual uma única família de patentes estar classificada com diversos códigos IPC. A tabela acima mostra cerca de 74% das classes usadas na base e aproximadamente 29% pertencentes à classe B41: "*printing; lining machines; typewriters; stamps*". É uma classe relativa a impressoras. Já a classe C09 tem o seguinte título: "*dyes; paints; polishes; natural resins; adhesives; compositions not otherwise provided for; applications of materials not otherwise provided for*". São corantes, tintas e compostos, provavelmente usados pelas impressoras.

A tabela a seguir mostra as top 10 subclasses.

Tabela VI.3 Top 10 subclasses dos códigos IPC

Classe	Quantidade	%
B41J	5849	20,44%
C09D	3018	10,55%
B41M	2033	7,11%
C09B	1301	4,55%
B29C	1031	3,60%
D06P	798	2,79%
D21H	699	2,44%
B32B	654	2,29%
G03B	573	2,00%
G02B	567	1,98%

A tabela mostra 58% das subclasses apontadas. As subclasses B41J e B41M refletem os equipamentos e têm as seguintes nomenclaturas, respectivamente: "*typewriters; selective printing mechanisms, i.e. mechanisms printing otherwise than from a forme; correction of typographical errors (…);*" e "*printing, duplicating, marking, or copying processes; colour printing (correction of typographical errors b41j; processes for applying transfer pictures or the like (…))*". Portanto, equipamentos de impressão, copiadoras, máquinas de escrever, entre outros.

Analisando alguns códigos dessas classes, vemos que o código B41J-002/01 tem a descrição de subgrupo "*ink jet*". Já o código C09D-011/10 tem a descrição de subgrupo "*ink*". Portanto, a análise dos códigos IPC, com suas subdivisões, reforça a hipótese de que há muitas famílias de patentes relativas, exclusivamente, à impressão jato de tinta.

De fato, a *string* de busca foi formada pela combinação de vários termos com o operador "or". Ela contém um trecho "*or "ink jet printing*"" que deve ter levado a esse resultado. A intenção era de patentes com tecnologia *ink jet* aparentadas de impressão 3D, mas, na prática, houve retorno de diversas outras patentes não relacionadas à impressão 3D.

Desse modo, é preciso "limpar" a base de dados. De posse de todos os títulos e resumos das famílias de patentes, foi realizada a extração de um subconjunto de famílias que só possuem o termo "*ink jet printing*" em, pelo menos, um dos dois campos e não possuem nenhum outro termo da busca mostrada na seção V.2.

Detalhando o processo, a busca padrão na base *Derwent Patent Index* procura os termos digitados nos campos "título" e "resumo". Desse modo, na base local previamente trabalhada, foram concatenados o título e o resumo de todas as patentes, e feita uma pesquisa por cada termo da busca realizada na base *Derwent Patent Index*. Quando encontrado somente o termo "*ink jet printing*", a família foi descartada. Quando encontrados, pelo menos, dois termos da busca, mesmo que um deles fosse "*ink jet printing*", ou encontrado um termo diferente de "*ink jet printing*", a família foi mantida.

Exemplificando, a família CN103276608-A possui o seguinte título e resumo:

> *"Method for pre treating single side fabric that is utilized in **ink jet printing** involves weighing and mixing cationic modified agent foaming agent and water and applying foam on fabric followed by drying printing and baking fabric NOVELTY A single side fabric pre treating method involves weighing and evenly mixing 5 15 pts. wt. cationic modified agent 1 3 pts. wt. foaming agent and 82 94 pts. wt. de ionized water to obtain cationic modified solution and stirring and foaming the solution to obtain foam. The foam is applied to a fabric by a scraper method. The fabric is dried and baked at 60 150 degrees C for 2 minutes. The fabric is printed with colors and patterns at a temperature of 25 degrees C and relative humidity of 65%. The fabric is baked at 150 degrees C for 3*

> *minutes to obtain a finished product. USE Method for pre treating a single side fabric that is utilized in ink jet printing. ADVANTAGE The method enables pre treating the single side fabric in an energy saving manner improving ink jet printing performance improving hand feeling of fabric surface and avoiding generation of waste water. DETAILED DESCRIPTION A single side fabric pre treating method involves weighing and evenly mixing 5 15 pts. wt. cationic modified agent 1 3 pts. wt. foaming agent and 82 94 pts. wt. de ionized water to obtain cationic modified solution and stirring and foaming the solution to obtain foam. The foam is applied to a fabric by a scraper method. The fabric is dried and baked at 60 150 degrees C for 2 minutes. The fabric is printed with colors and patterns with resolution of 720 dpi at a temperature of 25 degrees C and relative humidity of 65%. The fabric is baked at 150 degrees C for 3 minutes to obtain a finished product.".*

Pode-se perceber que há menção apenas ao termo "*ink jet printing*" e a mais nenhum outro da *string* de busca, de modo que essa família foi descartada.

Por outro lado, a família TW200526386-A foi mantida mesmo tratando de "*ink jet printing"* por também tratar de "*rapid prototyping*":

> *"**Rapid prototyping** process and apparatus equipped with a spindle and an **ink jet printing** system whose structure is designed based on the objective of fast production of the prototype article using a cylinder as the central main body NOVELTY This invention utilizes the existing techniques of a rapid prototyping and an ink jet printing to design a rapid prototyping apparatus whose structure is designed based on the objective of fast production of the prototype article using a cylinder as the central main body and simultaneously coloring. Take a cylindrical core material for CNC process to produce the central portion of article; the core material is held on the clipper of horizontal spindle Z direction in the disclosed apparatus; a nozzle set connected to the material supply unit is installed onto the straight above of the article and moved in the direction of two dimensional plane to output molded material; the spindle rotates back and forth in the angle based on the contour of model to coat the material onto the core cylinder which generates the stack of layers with movement of the nozzle set to complete the modeling of the objective article. On the lateral of the article is equipped with another ink jet nozzle set which moves in the direction of another two dimensional*

> *plane tangent to the spindle to ink jet print the predetermined color to achieve the target of article coloring"*

De fato, essa patente deveria mesmo ser mantida, dado que aparenta ser de impressão 3D, em função de descrever também movimentação no eixo Z.

O último caso é a família mantida na base por não citar a impressão jato de tinta, mas por citar, pelo menos, alguma outra tecnologia descrita na *string* de busca, como a família CN103231515-A.

> *"Sanitary product preparing method involves spraying fiber material and bonding material to **three dimensional printing** according to layer to form information and forming sanitary article with pattern NOVELTY The method involves designing a three dimensional 3D model that is required to form a sanitary article. The 3D model of the article is layered into slices to obtain a main material layer e.g. plant fiber and an adhesive material layer e.g. epoxy resin. An adhesive material is selected from a group consisting of binders thermoplastic polymer and a hot melt adhesive. Fiber material and bonding material are sprayed out to **3D printing** according to each layer to form information. The article is formed with the pattern where the shape of the pattern area weave is same as shape of the other areas. USE Method for preparing a sanitary product. ADVANTAGE The method prepares the sanitary product in simple manner and avoids the shape of weave fiber."*

Após a remoção das famílias exclusivas de tecnologia jato de tinta, a base original reduziu-se de 6.633 para 2.388 famílias, ou seja, restou apenas 36% da base. Criando-se um arquivo de partição no Pajek, foram removidas das redes de citação e de citação com *spillover* as famílias necessárias, restando apenas 653 vértices na rede.

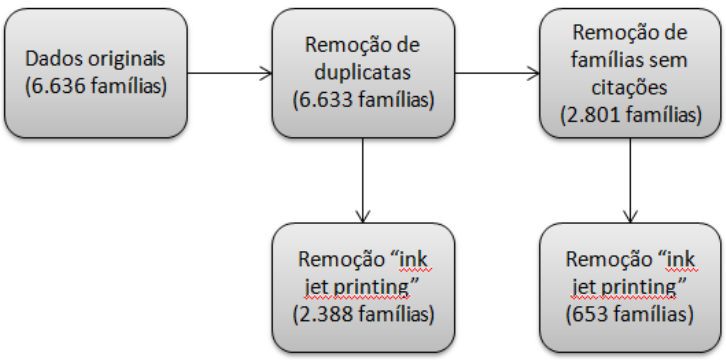


Figura VI.4 Efeito da remoção de famílias de "*ink jet printing*"

Retomando as análises com a base de dados sanitizada, um novo cenário da evolução da criação de novas famílias de patentes ao longo do tempo pode ser traçado, conforme a figura a seguir.

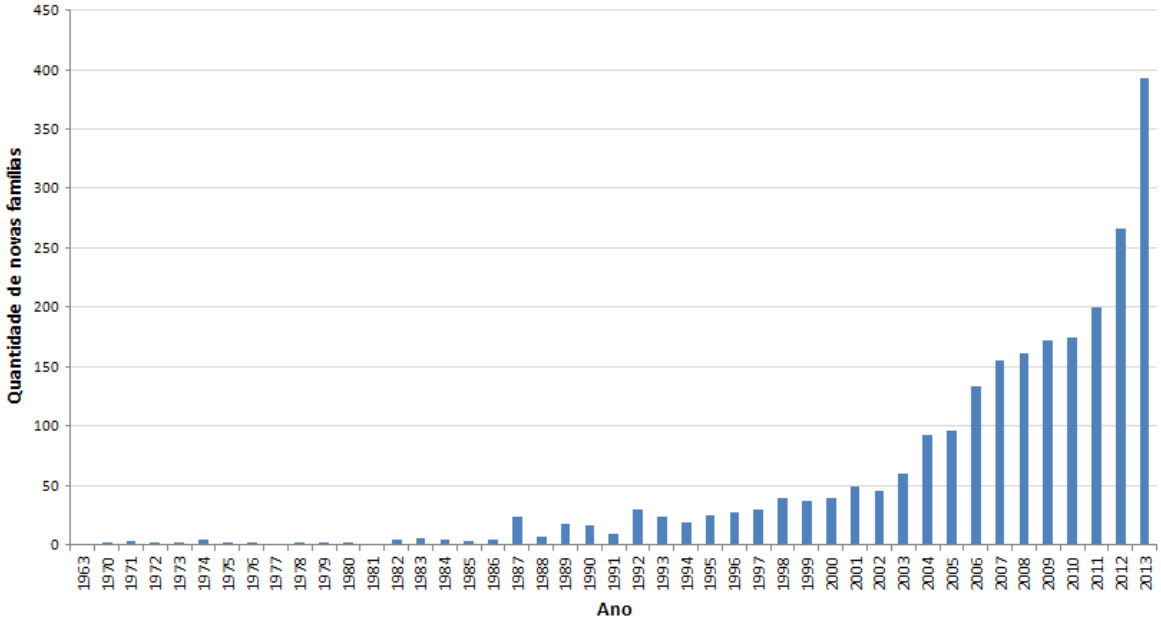


Figura VI.5 Histórico de novas famílias de patentes de impressão 3D por ano

Percebe-se que continuam existindo, na base, algumas patentes antigas, anteriores a 1985, mas em quantidade bastante menor que na análise inicial.

Avaliando o gráfico com o agrupamento por décadas, e não em escala anual, fica mais clara a evolução da impressão 3D nos últimos anos. Entre 2010 e 2013, já houve depósito de 1.034 novas famílias, mais do que em toda a década de 2000 e mais de quatro vezes a quantidade das famílias criadas na década de 1990. Os anos 2012 e 2013 apresentaram forte crescimento, de modo que podemos assegurar que a década de 2010 abrigará muito mais novas famílias de patentes que a década de 2000. A tecnologia está acelerando.

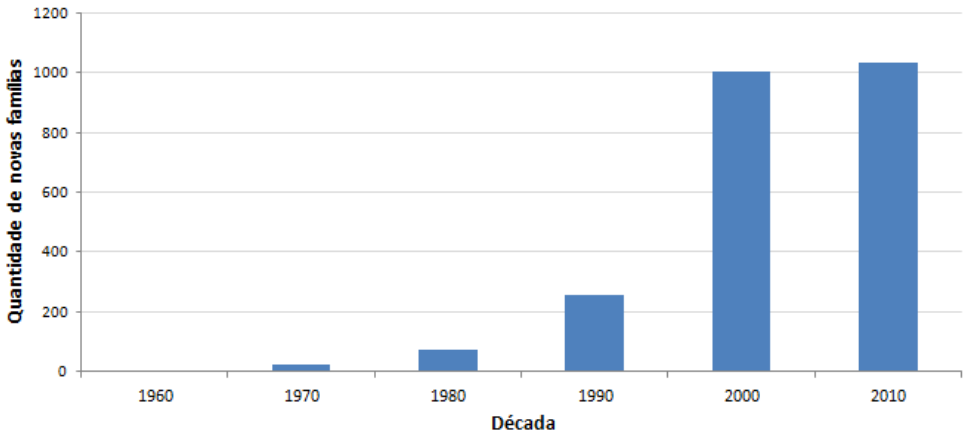


Figura VI.6 Histórico de novas famílias de patentes de impressão 3D por década

De acordo com o modelo de Ernst da figura IV.3, podemos perceber que a tecnologia ainda está na fase de surgimento. Usando novamente o modelo de crescimento logístico, foi obtida uma curva como mostrada na figura que se segue. A assíntota calculada é de 14.022 famílias de patentes, e 50% delas terão sido desenvolvidas até 2023 (tempo de ponto médio da curva, seu ponto de inflexão).

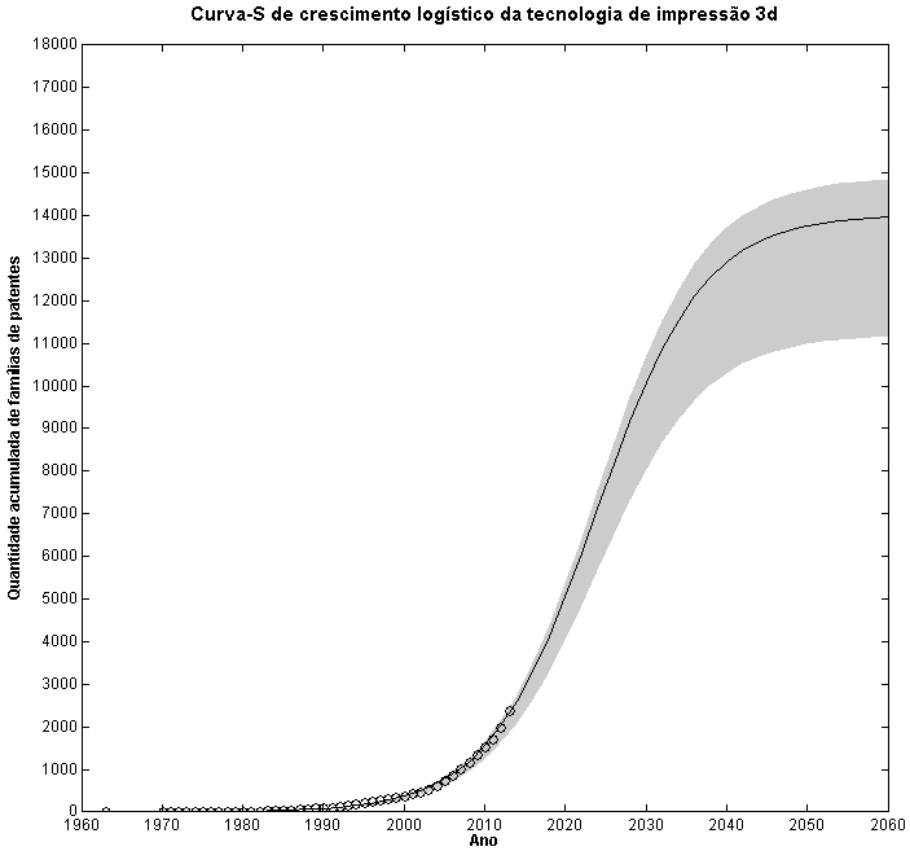


Figura VI.7 Modelo de crescimento logístico aplicado às patentes de impressão 3D

A equação da curva obtida segundo esse ajuste é:

$$N(t) = \frac{14022{,}557}{1 + e^{-\left[\frac{\ln(81)}{29{,}095} * (t - 2023{,}799\right]}}$$

Esse ajuste mostra que a tecnologia irá de 10% a 90% do total das famílias de patentes ao longo de 29 anos de crescimento, a duração característica. Como o ponto médio será em 2023, 10% foi totalizado em 2009, o que mostra que a tecnologia ainda possui muito a se desenvolver. Isso é corroborado pelo estágio da curva-S, pois, dado que ainda não se chegou ao ponto de inflexão da curva e já se passou de 10% do total de famílias, infere-se que a tecnologia está no estágio de crescimento.

Passando, agora, a avaliar a rede de citação, podemos observar uma série de propriedades. A rede possui 653 vértices, 1.416 arcos, uma densidade média de 0,0033 (rede altamente esparsa) e grau médio dos vértices igual a 4,33, considerados os graus de *output* e

input somados. A rede está mostrada a seguir, e ela possui uma componente gigante, com 442 vértices, 68% do total de vértices da rede.

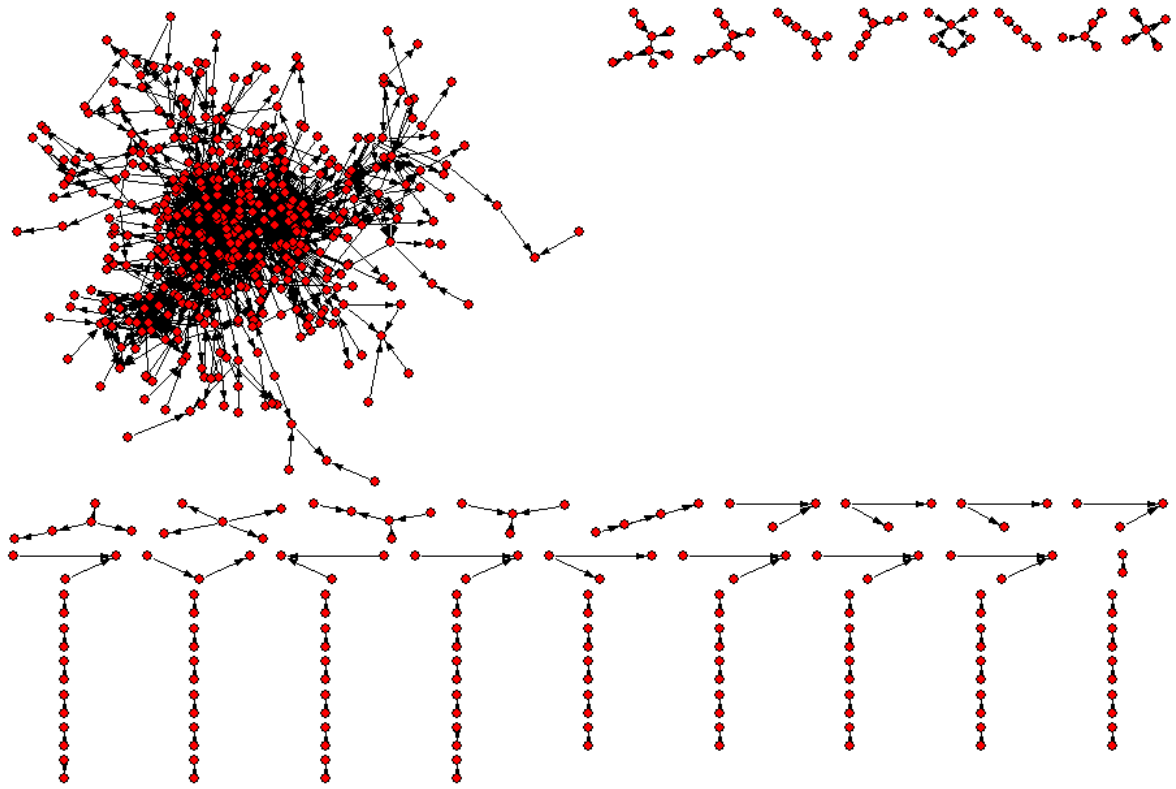


Figura VI.8 Rede de citação

As top 10 famílias com maior grau de *output*, as mais citadas, estão descritas abaixo.

Tabela VI.4 Top 10 graus de *output* da rede de citação

Patente	Ano de publicação	Grau de *output*
EP171069-A2	12/02/1986	82
EP431924-A2	09/06/1991	61
US5943235-A	24/08/1999	22
WO9809798-A	12/03/1998	19
WO9308928-A	13/05/1993	19
WO200052624-A	08/09/2000	18
WO9208566-A	29/05/1992	17
WO9208567-A	29/05/1992	16
US4844144-A	04/07/1989	16
WO9320993-A	28/10/1993	15

A maioria das famílias data do final da década de 80 ou início da década de 90. A primeira família é a da invenção da stereolitografia, por Charles Hull. A segunda é a patente do MIT sobre um processo de impressão 3D que, posteriormente, foi licenciado a algumas

empresas, como a Z Corporation. As patentes WO9308928-A, WO9208566-A e WO9208567-A são de Carl Deckard e Joe Beaman, sobre o processo SLS para trabalho com metais, inventado na universidade do Texas. O grau médio de *output* é 2,16.

A seguir, são listadas as top 10 famílias com maior grau de *input*, as que mais citam.

Tabela VI.5 Top 10 graus de *input* da rede de citação

Patente	Ano de publicação	Grau de *input*
US2011130489-A1	02/06/2011	61
US2008138515-A1	12/06/2008	60
WO200134371-A	17/05/2001	50
US2005197431-A1	08/09/2005	50
WO2004113042-A2	29/12/2004	49
WO2003103932-A	18/12/2003	21
DE102006019964-A1	31/10/2007	17
US2012164256-A1	28/06/2012	16
US2012164330-A1	28/06/2012	16

Todas as famílias foram publicadas depois dos anos 2000, quando a evolução da tecnologia se acentuou. A que mais cita, por exemplo, é uma família da 3D Systems sobre revestimento de peças impressas em 3D, ou seja, estão evoluindo o acabamento das peças, que costuma ser criticado e é passível de melhorias.

A seguir, são apresentadas as top 10 famílias com maior domínio de *output*, ou seja, o domínio das patentes citadas.

Tabela VI.6 Top 10 domínios de *output* da rede de citação

Patente	Ano de publicação	Domínio de *output*
EP171069-A2	12/02/1986	252
EP529816-A	30/01/1993	135
EP431924-A2	09/06/1991	129
US4844144-A	04/07/1989	109
EP655317-A	31/05/1995	88
EP348061-A2	25/12/1989	86
WO9308928-A	13/05/1993	85
DE19507881-A	14/09/1995	79
US5943235-A	24/08/1999	78
US5501824-A	26/03/1996	76

Cerca de metade das famílias que possuem alto grau de *output* são muito citadas, estão no top 10 de domínio de *output*. A exceção mais notável é a segunda família do top 10, a EP529816-A, que descreve um processo de prototipagem rápida de objetos metálicos soldando camadas de metais, como o processo LOM (*laminated object manufacturing*). O domínio de *output* médio da rede é de 7,48.

Dado o domínio, podemos listar o top 10 de proximidade de prestígio.

Tabela VI.7 Top 10 de proximidade de prestígio da rede de citação

Patente	Ano de publicação	Proximidade de prestígio
EP171069-A2	12/02/1986	0,19519
EP431924-A2	09/06/1991	0,11497
EP529816-A	30/01/1993	0,07986
WO9308928-A	13/05/1993	0,06191
US4844144-A	04/07/1989	0,06014
US5943235-A	24/08/1999	0,05796
US5501824-A	26/03/1996	0,05242
WO9208566-A	29/05/1992	0,05173
WO9208567-A	29/05/1992	0,05135
EP655317-A	31/05/1995	0,04990

A maior parte das famílias que tem alta proximidade de prestígio também está com alta quantidade de vértices em seu domínio, 80% estão nos dois top 10. As duas exceções estão no top10 de maiores graus de *output*, que são as famílias WO9208566-A e WO9208567-A. Isso significa que essas famílias têm seus descendentes diretos mais próximos de si, a ponto de elas aparecerem no top 10 de proximidade de prestígio, mesmo não estando no top 10 de domínio de *output*.

A tabela que segue mostra as top 10 maiores centralidades de proximidade, usadas medindo-se o *output* dos vértices, ou seja, os citados.

Tabela VI.8 Top 10 de centralidade de proximidade da rede de citação

Patente	Ano de publicação	Centralidade de proximidade
EP171069-A2	12/02/1986	0,19566
EP431924-A2	09/06/1991	0,11568
EP529816-A	30/01/1993	0,08033
WO9308928-A	13/05/1993	0,06254
US4844144-A	04/07/1989	0,06060
US5943235-A	24/08/1999	0,05861
US5501824-A	26/03/1996	0,05303
WO9208566-A	29/05/1992	0,05236
WO9208567-A	29/05/1992	0,05196
EP655317-A	31/05/1995	0,05039

Percebemos resultados bastante semelhantes aos do top 10 de proximidade de prestígio.

Para calcular o Caminho Principal, é preciso calcular os pesos transversais dos arcos. O Pajek fornece um vetor com os pesos transversais dos vértices, e não dos arcos, mas a funcionalidade para cálculo do Caminho Principal é a mesma já descrita antes.

Tabela VI.9 Top 10 de pesos transversais da rede de citação

Patente	Ano de publicação	Peso transversal
WO200134371-A	17/05/2001	0,62508
EP171069-A2	12/02/1986	0,46985
US2011130489-A1	02/06/2011	0,44755
US2004056378-A1	25/03/2004	0,34574
WO9809798-A	12/03/1998	0,34337
WO2004113042-A2	29/12/2004	0,34044
EP1163999-A	13/12/2001	0,28616
EP431924-A2	09/06/1991	0,27857
US2008138515-A1	12/06/2008	0,22377
US2005197431-A1	08/09/2005	0,19357

Abaixo, observa-se o Caminho Principal da rede de citação, calculado pelo método SPC.

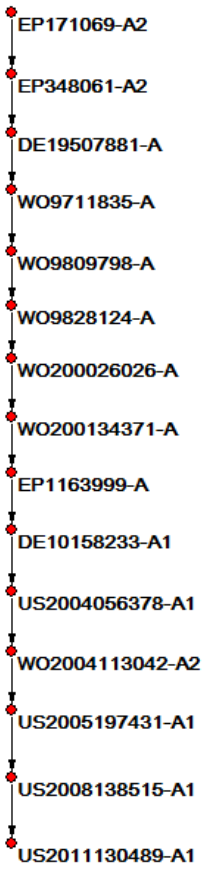


Figura VI.9 Caminho Principal da rede de citação

A primeira família do caminho, identificada por EP171069-A2, é a patente solicitada por Charles Hull quando registrou a stereolitografia e fundou a empresa 3D Systems. Esse resultado parece consistente na medida em que essa patente também aparece entre as patentes de maior Peso Transversal, maior grau de *output* (mais citada), maior centralidade de proximidade e maior proximidade de prestígio. Sobre o ponto de vista econômico e de

mercado, tal resultado também faz sentido, dado que essa patente criou uma das primeiras máquinas de impressão 3D comercializadas e a 3D Systems, até hoje, é uma das maiores empresas do mercado.

Outras famílias do Caminho Principal são:

- EP348061-A2 – 1989 – dispositivo protético como transplante de ossos usando gráficos gerados em computadores e stereolitografia; empresa Zeneca Ltd.
- DE19507881-A – 1995 – suporte para objetos durante produção; empresa Materialise NV.
- WO9711835-A – 1997 – método para prototipagem rápida usando stereolitografia térmica ou fdm para aumento da resolução da cabeça de impressão; empresa 3D Systems.
- WO9809798-A – 1998 – sistema de impressão 3D que usa mistura de partículas de vários materiais; empresa Z Corporation.
- WO9828124-A – 1998 – prototipagem rápida com fabricação de objeto tridimensional com depósito de camadas sucessivas de pó e jatos de aglutinantes e corantes; empresa Z Corporation.
- WO200026026-A – 2000 – impressão 3D com material composto de solução aquosa e gesso; Z Corporation.
- WO200134371-A – 2001 – impressão 3D envolvendo reação iônica de fluido com material em partículas; Z Corporation.
- EP1163999-A – 2001 – materiais para processo de impressão 3D; empresa Daimler Chrysler AG.
- DE10158233-A1 – 2003 – sistema reativo para impressão 3D, em que dois ou mais componentes químicos reagem para formar um elemento sólido; inventor Muelhaupt, R.
- US2004056378-A1 – 2004 – composição para impressão 3D por dois materiais reativos e um terceiro material que se solidifica em período maior de tempo; empresa Z Corporation.
- WO2004113042-A2 – 2004 – pó composto de partículas adesivas e de preenchimento em termoplástico; empresa Z Corporation.
- US2005197431-A1 – 2005 – processo de impressão 3D com composto químico envolvendo solvente; empresa Z Corporation.
- US2008138515-A1 – 2008 – materiais em pó para impressão 3D de cerâmica; empresa Z Corporation.
- US2011130489-A1 – 2011 – sistemas de materiais para impressão 3D baseados em partículas solúveis e não solúveis em água, para melhoria da aparência da superfície dos objetos criados; empresa Z Corporation.

Pode ser percebido que mais da metade das famílias do Caminho Principal calculado estão hoje em domínio da 3D Systems. Muitas das famílias introduzem compostos que visam baixar o preço e o tempo de criação das peças ou melhorar a qualidade, em processo incremental de produtividade e qualidade.

A seguir, apresenta-se o Caminho Principal usando *key-route* global, partindo do vértice WO200134371-A, que possui o maior Peso Transversal da rede.

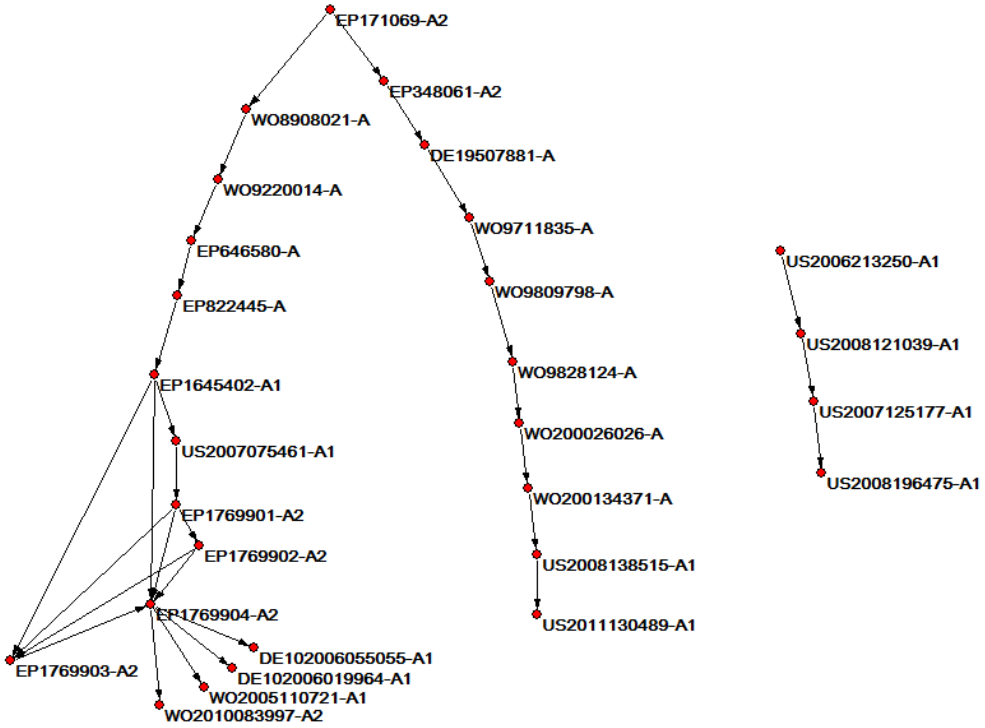


Figura VI.10 Caminho Principal com método *key-route* global

Foi calculado um ramo “A” semelhante ao Caminho Principal encontrado previamente, com famílias da 3D Systems e Z Corporation, indo da EP171069-A2 até a US2011130489-A1, excluindo famílias datadas de 2001 a 2005. Contudo, o método encontrou dois outros ramos de Caminho Principal: um ramo “B”, curto, composto de quatro famílias; e outro ramo “C”, mais longo, composto de 15 famílias.

A seguir, as famílias que fazem parte do ramo “B”:

- US2006213250-A1 – 2006 – processo de inspeção ultrassônica de peças usando um prisma criado com stereolitografia; empresa Boeing.
- US2008121039-A1 – 2009 – processo de inspeção ultrassônica de peças em busca de defeitos, usando peça criada com stereolitografia; empresa Boeing.
- US2007125177-A1 – 2007 – processo de inspeção ultrassônica de peças usando bloco adaptável à largura das peças, criado com stereolitografia; empresa Boeing.

- US2008196475-A1 – 2008 – processo de inspeção ultrassônica de peças usando peça oca criada com stereolitografia; empresa Boeing.

Fica explícito que essas famílias são muito ligadas entre si em função do assunto tratado, mas não são representativas do processo de evolução da impressão 3D, de modo que podem ser descartadas em uma análise macroscópica da impressão 3D.

A seguir, a análise do ramo “C”:

- EP171069-A2 – 1986 – invenção da stereolitografia; empresa 3D Systems.
- WO8908021-A – 1989 – líquido curável por ultravioleta para stereolitografia; empresa Desoto Inc.
- WO9220014-A – 1992 – composto polímero curável termicamente para stereolitografia; empresa Allied Signal Inc.
- EP646580-A – 1995 – éter vinílico curável e altamente sensível à radiação para stereolitografia; empresa Ciba Geigy Ag.
- EP822445-A – 1998 – líquido curável por radiação para stereolitografia, que dá ao produto característica de baixa absorção de água; empresa Ciba Geigy Ag.
- EP1645402-A1 – 2006 – aparato de stereolitografia para construção de objetos em três dimensões, com elevadores eletrônicos para múltiplas câmaras; empresa 3D Systems.
- US2007075461-A1 – 2007 – tanque de resina para aparelho de stereolitografia, com entrada de energia para aquecimento do elemento antes do uso pela cabeça de impressão, visando aumentar a produtividade e eficiência do processo; empresa 3D Systems.
- EP1769901-A2, EP1769902-A2, EP1769903-A2, EP1769904-A2 – 2007 – quatro famílias postadas na mesma data, sobre detalhes de novo equipamento de impressão 3D com stereolitografia; empresa 3D Systems.
- DE102006055055-A1 – 2008 – aparato para impressão 3D com metais em que o pó de metal e o elemento de aquecimento podem ser removidos sem o uso de ferramentas; empresa EOS Gmbh Electro Optical Systems.
- DE102006019964-A1 – 2007 – equipamento e processo de impressão 3D com polímeros; empresa Envisiontec Gmbh.
- WO2005110721-A1 – 2005 – equipamento de fotopolimerização de plástico líquido em camadas; empresa Envisiontec Gmbh.
- WO2010083997-A2 – 2010 – método para reuso de pó de metal residual após impressão 3D; empresa EOS Gmbh Electro Optical Systems.

É interessante notar que esse ramo do Caminho Principal se iniciou com empresas da área química desenvolvendo materiais para a stereolitografia na década de 90. Na década de 2000, o ramo indicou equipamentos e melhorias para a stereolitografia. Contudo, no final do ramo, as famílias já tratam de impressão de metais ou impressão de plásticos por outras empresas. Essas últimas famílias, embora tenham datas como 2007 ou 2005, possuem diversas patentes recentes, posteriores a 2009, o que explica estarem ao final do ramo e aparecendo depois de uma família de 2008, mesmo tendo data anterior.

Avaliando os dois métodos e os quatro ramos de Caminho Principal gerados, é perceptível que o início do Caminho Principal da tecnologia vem com a stereolitografia e seus insumos. A partir da década de 2000, começam a surgir melhorias incrementais no processo e no acabamento das peças. Ascendem em importância famílias com outros processos produtivos que não a stereolitografia, o que indica, para o futuro, que outros processos – em particular, a impressão de pó de metais – devem ganhar mais espaço. Futuramente, em termos de stereolitografia, parece restar melhorias cada vez menos dramáticas em termos de precisão, cores, acabamentos e, talvez, velocidade de produção.

VI.2 Rede de Citação com *Spillover*

Os mesmos levantamentos realizados para a rede de citação foram realizados para a rede de citação com *spillover* tecnológico. Avaliando essa rede de citação com transbordamento, pode-se observar uma série de propriedades. A rede possui 658 vértices, 2.315 arcos, uma densidade média de 0,0053 e grau médio dos vértices igual a 7,03, considerados os graus de *output* e *input* somados. Em função da adição dos arcos, é uma rede 61% mais densa que a rede de citação, e o grau médio dos vértices é 62% maior.

A rede é apresentada a seguir e também possui uma componente gigante, com 562 vértices, cerca de 85% do total de vértices da rede. Aumentando a quantidade de arcos, também era esperada uma componente gigante maior, como aconteceu, dado que a componente gigante da rede de citação sem *spillover* abrangia 68% da rede.

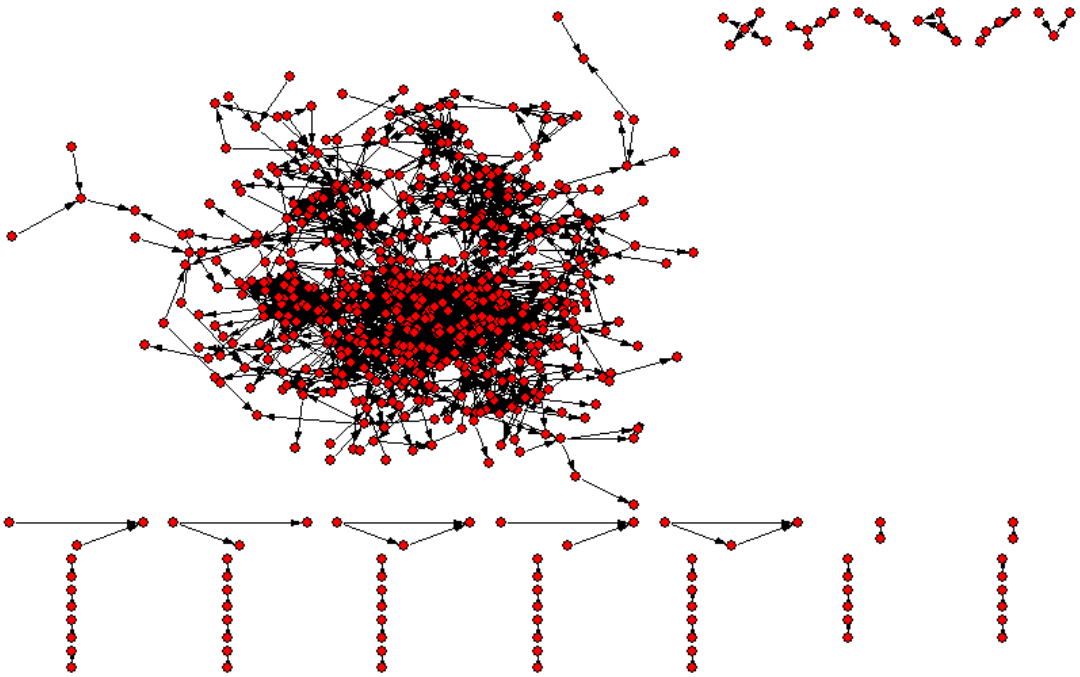


Figura VI.11 Rede de citação com *spillover*

As top 10 famílias com maior grau de *output*, as mais citadas, estão descritas abaixo.

Tabela VI.10 Top 10 graus de *output* da rede de citação com *spillover*

Patente	Ano de publicação	Grau de *output*
EP171069-A2	12/02/1986	84
EP431924-A2	09/06/1991	64
US5943235-A	24/08/1999	25
WO9853974-A	03/12/1998	25
WO9937456-A	29/07/1999	24
WO9711835-A	03/04/1997	23
US2009173443-A1	09/07/2009	22
WO9809798-A	12/03/1998	22
WO2009134298-A2	05/11/2009	20
WO2007044007-A1	19/04/2007	20

Entre as três primeiras patentes, não houve alteração. No entanto, a partir da quarta patente da lista, houve muitas mudanças no *ranking*. Surgiram, inclusive, patentes recentes, de 2007 e 2009, da Stratasys, todas com autores em comum entre si. O grau médio de *output* é 3,41, sendo 58% maior que o da rede de citação regular.

Seguindo a mesma ordem da seção anterior, agora são apresentadas as top 10 famílias com maior grau de *input*, as que mais citam.

Tabela VI.11 Top 10 graus de *input* da rede de citação com *spillover*

Patente	Ano de publicação	Grau de *input*
US2008138515-A1	12/06/2008	61
US2011130489-A1	02/06/2011	60
US2005197431-A1	08/09/2005	51
WO2004113042-A2	29/12/2004	48
WO200134371-A	17/05/2001	47
US2012161350-A1	28/06/2012	30
US2012070523-A1	22/03/2012	25
US2012164330-A1	28/06/2012	23
US2013161432-A1	27/06/2013	23
US2012164256-A1	28/06/2012	22

Somente duas patentes do *ranking* da rede de citação não aparecem no novo *ranking*. O décimo elemento possui grau de entrada 22 em contraste com o grau 16 do cenário anterior. Contudo, a característica básica continua, com patentes posteriores ao ano 2000.

A seguir, são listadas as top 10 famílias com maior domínio de *output*.

Tabela VI.12 Top 10 domínios de *output* da rede de citação com *spillover*

Patente	Ano de publicação	Domínio de *output*
EP171069-A2	12/02/1986	359
EP529816-A	30/01/1993	235
EP431924-A2	09/06/1991	229
EP378144-A2	10/07/1990	207
WO8908021-A	08/09/1989	206
US4844144-A	04/07/1989	205
US5501824-A	26/03/1996	193
US5569349-A	29/10/1996	191
EP348061-A2	25/12/1989	189
DE19507881-A	14/09/1995	183

A quantidade de vértices no domínio aumentou muito. O domínio de *output* médio na nova rede é 22, enquanto antes era 7. Novamente, há bastantes coincidências, com apenas três famílias novas de diferença.

Dado o domínio, podemos listar o top 10 de proximidade de prestígio.

Tabela VI.13 Top 10 de proximidade de prestígio da rede de citação com *spillover*

Patente	Ano de publicação	Proximidade de prestígio
EP171069-A2	12/02/1986	0,23465
EP431924-A2	09/06/1991	0,15004
EP529816-A	30/01/1993	0,11075
US5501824-A	26/03/1996	0,10538
EP378144-A2	10/07/1990	0,10435
WO9711835-A	03/04/1997	0,10398
US5569349-A	29/10/1996	0,10359
US5943235-A	24/08/1999	0,10249
US4844144-A	04/07/1989	0,09434
WO9711837-A	03/04/1997	0,09387

Do *ranking* original, seis famílias permaneceram no *ranking* para a rede com *spillover* tecnológico. A família EP378144-A2 foi uma das que apareceram nesse *ranking* e também havia surgido no *ranking* de domínio de *output*. Essa família trata sobre uma resina líquida foto-curável para uso em stereolitografia, ou seja, um insumo para a tecnologia.

A tabela que segue mostra as top 10 maiores centralidades de proximidade, usadas medindo-se o *output* dos vértices, ou seja, os citados.

Tabela VI.14 Top 10 de centralidade de proximidade da rede de citação com *spillover*

Patente	Ano de publicação	Centralidade de proximidade
EP171069-A2	12/02/1986	0,23494
EP431924-A2	09/06/1991	0,15046
EP529816-A	30/01/1993	0,11105
US5501824-A	26/03/1996	0,10577
EP378144-A2	10/07/1990	0,10470
WO9711835-A	03/04/1997	0,10441
US5569349-A	29/10/1996	0,10398
US5943235-A	24/08/1999	0,10292
US4844144-A	04/07/1989	0,09466
WO9711837-A	03/04/1997	0,09425

Acompanhando os resultados do *ranking* de centralidade de proximidade, esse top 10 acompanhou o de proximidade de prestígio. Em relação à rede original, os percentuais ficaram maiores.

A seguir, serão descritos os pesos transversais para cálculo de Caminho Principal.

Tabela VI.15 Top 10 de pesos transversais da rede de citação com *spillover*

Patente	Ano de publicação	Peso transversal
EP171069-A2	12/02/1986	0,97568
US2002011693-A1	31/01/2002	0,96203
US2012251688-A1	04/10/2012	0,95472
WO200159524-A	16/08/2001	0,90907
WO2007044007-A1	19/04/2007	0,87390
US2012161350-A1	28/06/2012	0,59389
US2012070523-A1	22/03/2012	0,59223
EP646580-A	17/03/1995	0,58919
EP2607057-A2	26/06/2013	0,55112
US2012164256-A1	28/06/2012	0,54554

Abaixo, pode-se observar o Caminho Principal da rede de citação com *spillover* tecnológico, calculado pelo método SPC.

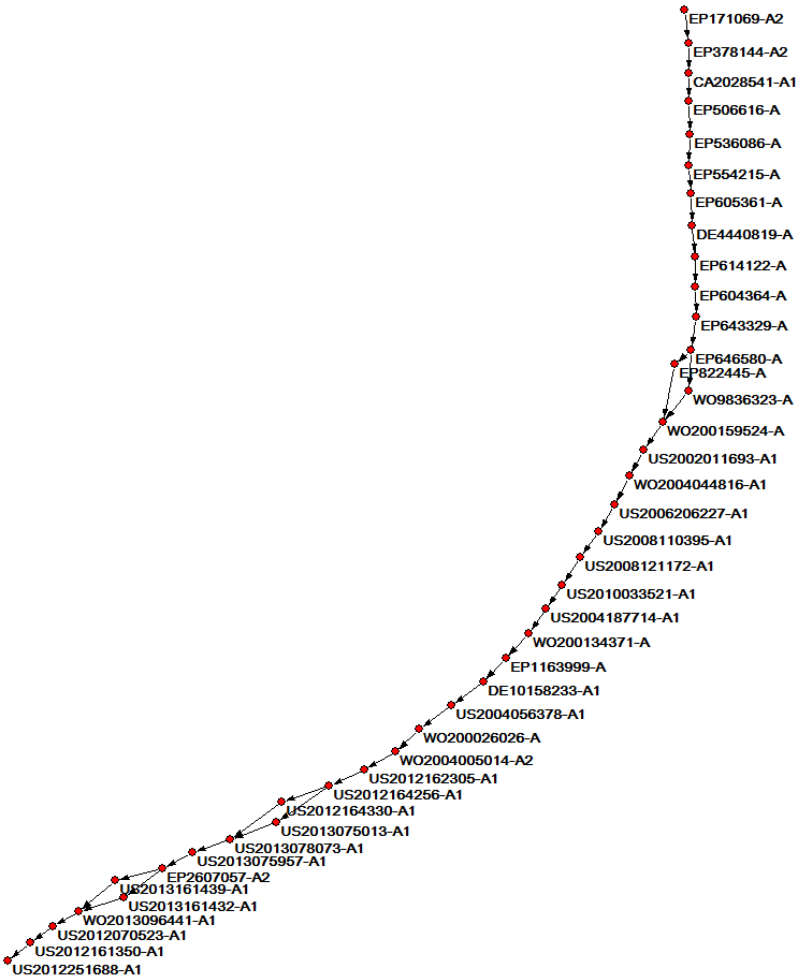


Figura VI.12 Caminho Principal da rede de citação com *spillover*

O Caminho Principal calculado ficou com 41 vértices. Isso ocorreu em função dos valores muito maiores de pesos transversais para os arcos. Existem vértices em comum, mas muitos do Caminho Principal da rede original não estão mais presentes.

Após a patente da invenção da stereolitografia, o caminho segue com 12 famílias de patentes da Ciba Geigy Ag, que tratam sobre líquidos fotossensíveis para stereolitografia, durante toda a década de 90.

A família WO200129524-A marca o início das famílias da década de 2000, mas ainda tratando de compostos para stereolitografia. A família seguinte US2002011693-A1, de 2002, da 3D Systems, é a primeira do caminho a tratar de equipamento para impressão 3D, podendo ser usado para stereolitografia, FDM ou "*selective deposition modeling*". Essa família é a de segundo maior Peso Transversal na rede.

A partir dessa família, o caminho começa a retratar diversas empresas famílias da Objet Geometries, Z Corporation e da Stratasys nas décadas de 2000 e 2010.

- WO2004044816-A1 – 2004 – sistema completo de impressão 3D, com placa controladora para o computador, método de impressão, aparelho de impressão e depósito de material; empresa Objet Geometries. Interessante apontar que essa família é longa, possui 18 patentes, sendo a mais recente na base data de 2014, já sobre a autoria da Stratasys.
- US2006206227-A1 – 2006 – novo equipamento para impressão 3D com método de ajuste no plano XY para redução de erros; empresa Objet Geometries.
- US2008110395-A1 – 2008 – aparato para impressão 3D com maior qualidade; empresa Objet Geometries.
- US2008121172-A1 – 2008 – aparato para impressão 3D com maior qualidade; empresa Objet Geometries.
- US2010033521-A1 – 2010 – método de fabricação de objetos 3D, com planejamento da rota da cabeça de impressão em cada plano XY, para melhoria da qualidade e velocidade de impressão; empresa Objet Geometries.
- US2004187714-A1 – 2004 (com patentes até 2014) – método para impressão 3D com depósito de materiais no mesmo plano, mas em locais separados; empresa Objet Geometries.
- WO200134371-A – 2001 – impressão 3D envolvendo reação iônica de fluido com material em partículas; Z Corporation.
- EP1163999-A – 2001 – materiais para processo de impressão 3D; empresa Daimler Chrysler AG.
- DE10158233-A1 – 2003 – sistema reativo para impressão 3D, em que dois ou mais componentes químicos reagem para formar um elemento sólido; inventor Muelhaupt, R.

- US2004056378-A1 – 2004 – composição para impressão 3D por dois materiais reativos e um terceiro material que se solidifica em período maior de tempo; empresa Z Corporation.
- WO200026026-A – 2000 (mas com patentes em 2013) – material para impressão 3D baseado em gesso; empresa Z Corporation.
- WO2004005014-A2 – 2004 – método de impressão 3D em que partículas de polímero são aquecidas sobre fluido que se solidifica com aquecimento; empresa Therics Inc (aplicações médicas).
- US2012162305-A1 – 2012 – cabeça de impressão para sistema de impressão FDM; empresa Stratasys.
- US2012164256-A1 – 2012 – fabricação de tântalo poroso por meio de impressão 3D; Universidade Soochow.
- US2012164330-A1 – 2012 – método de fabricação por FDM com cabeça de impressão mais leve e mais controlável; empresa Stratasys.
- US2013075013-A1 – 2013 – método de impressão 3D com partículas termoplásticas sendo aquecidas em um esquema em que a plataforma se move de forma sincronizada ao mecanismo que libera as partículas, tornando o processo mais rápido; empresa Stratasys.
- US2013078073-A1 – 2013 – torre motorizada para encaixe de uma cabeça de impressão; empresa Stratasys.
- US2013075957-A1 – 2013 – sistema para remover estruturas de suporte de um objeto impresso em 3D; empresa Stratasys.
- EP2607057-A2 – 2013 – esquema de bobina com suporte para sistema de impressão 3D; empresa Stratasys.
- US2013161439-A1 – 2013 – bobina com braço para travamento em sistema de impressão 3D; empresa Stratasys.
- US2013161432-A1 – 2013 – tubo para alimentação de filamento em impressão 3D; empresa Stratasys.
- WO2013096441-A1 – 2013 – adaptador universal para filamento em impressão 3D; empresa Stratasys.
- US2012070523-A1 – 2012 – peça para controlar o fluxo de filamento liquefeito; empresa Stratasys.
- US2012161350-A1 – 2012 – cabeça de impressão e estruturas de suporte; empresa Stratasys.
- US2012251688-A1 – 2012 – aparato de impressão 3D para chocolate; empresa Stratasys.

Podemos perceber que este método gerou sequências de famílias de uma mesma empresa. Começou com famílias da Ciba Geigy Ag, passou por famílias da Objet Geometries e terminou com inventos da Stratasys. Ao passo que foi interessante ver trabalhos recentes da Stratasys, que não surgiram em outros momentos do trabalho, não há grande relevância em um conjunto de patentes que tratam de peças ou pequenas melhorias para o mecanismo de impressão 3D já usado pela Stratasys.

O Caminho Principal pelo método *key-route* global também foi computado com auxílio do Pajek.

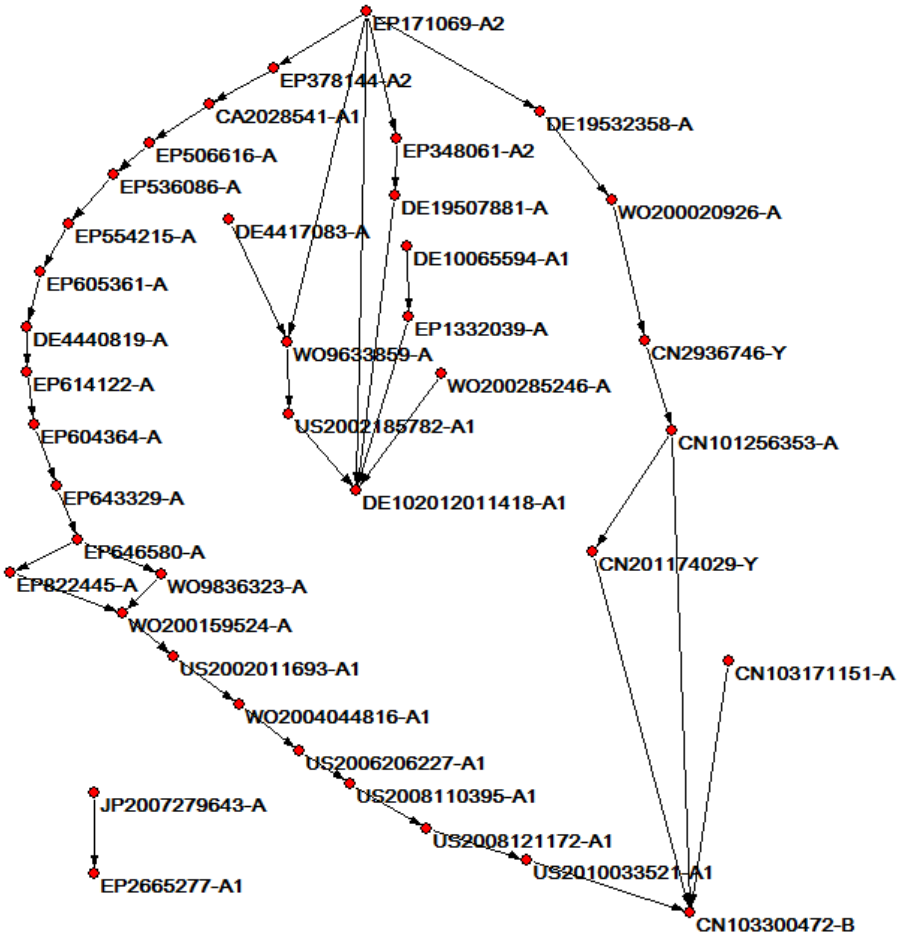


Figura VI.13 Caminho Principal *key-route* global da rede de citação com *spillover*

Esse Caminho Principal ficou com 39 famílias e podemos perceber três caminhos principais até dois sumidouros e um pequeno caminho com duas famílias. Os três caminhos principais se iniciam na invenção da stereolitografia.

O ramo A, o mais à esquerda na imagem, é o mais longo deles e possui a mesma sequência de famílias do Caminho Principal sem a técnica de *key-route*. Ele passa por patentes da Ciba Geigy Ag, de materiais para impressão 3D, e segue até a família US2010033521-A1, da empresa Objet Geometries, que fala sobre planejamento da rota da

cabeça de impressão no plano XY. Após essa família, a rota atinge o sumidouro, com a família CN103300472-B, de 2013, da empresa China Tobacco Hubei Ind, que trata de uma aplicação da tecnologia para a impressão 3D de cigarros.

O ramo B, o central da imagem, possui as seguintes famílias:

- EP348061-A2 – 1989 – dispositivo protético como transplante de ossos usando gráficos gerados em computadores e stereolitografia; empresa Zeneca Ltd.
- DE19507881-A – 1995 – suporte para objetos durante produção; empresa Materialise NV.
- DE10065594-A1 – 2002 – produção de molde injetável por sinterização com impressão 3D; empresa Concept *Laser* Gmbh.
- DE4417083-A – 1995 – equipamento para impressão 3D com stereolitografia que mantém nível do polímero líquido; empresa EOS Gmbh Electro Optical Systems.
- WO9633859-A – 1996 – composto resistente à hidrólise, útil para revestimentos, tintas e uso em stereolitografia; empresa Ciba Geigy Ag.
- EP1332039-A – 2002 – equipamento para impressão 3D por sinterização ou stereolitografia para criação de objetos maiores que o usual; empresa Concept *Laser* Gmbh.
- US2002185782-A1 – método para impressão 3D de objetos usando manipulação acústica para solidificar polímero líquido; Marinha Americana.
- WO200285246-A – 2002 – método para fabricação de implantes protéticos com stereolitografia; Universidade Case Western Reserve.
- DE102012011418-A1 – 2013 – sistema para microstereolitografia, para objetos inferiores a 0,5 mm; Universidade Pieck Rostock Wilhelm.

Esse ramo mostra algumas propriedades interessantes. A primeira delas é a diversidade, vários tipos diferentes de invenções, desde impressão de próteses até impressão em escala de microns. A diversidade mostra o quanto a tecnologia ainda pode se maturar em diversos nichos.

Outra propriedade interessante é que esse ramo possui quatro fontes para um sumidouro, o que mostra a versatilidade dessa técnica *key-route*, que não se limita em apenas um único Caminho Principal.

O ramo C possui as seguintes famílias:

- DE19532358-A – 1996 – substância fotoiniciadora de curagem para impressão 3D ou revestimento de peças; empresa Ciba Geigy Ag.
- WO200020926-A – 2000 – compostos fotopolímeros para microfabricação de cerâmica em stereolitografia; empresa Du Pont de Nemours & Co.

- CN2936746-Y – 2007 – máquina de impressão 3D para prototipagem rápida com tecnologia de deposição de partículas; empresa Shanghai Fuqifan Machine & Electricity Sci & Technology Co.
- CN101256353-A – 2008 – filme para litografia em vidro; empresa Cas Shanghai Inst Optics&Fine Mechanic.
- CN201174029-Y – 2008 – filme para impressão em vidro; empresa Cas Shanghai Inst Optics&Fine Mechanic.
- CN103171151-A – 2013 – método para impressão 3D com base em criação de dobraduras e preenchimento com material após tratamento; inventor S Han.
- CN103300472-B – 2013 – método para fabricação de cigarro baseado em impressão 3D com pó de tabaco; empresa China Tobacco Hubei Ind Corp.

O ramo C possui máquinas, compostos e métodos para fabricação. Vale notar a sequência de famílias chinesas, indicando que também há desenvolvimento nesse país, não ficando a tecnologia restrita a Estados Unidos e Europa (em particular, Alemanha). Além disso, é difícil acrescentar qualquer análise válida com base nessas famílias.

O último e menor ramo é composto de duas famílias: JP2007279643-A e EP2665277-A1. A primeira, de 2007, é um método para corrigir balanço de cores de imagens usando tecnologia DLP (*digital light processing*). A segunda, de 2013, é um projetor de imagens que também usa a tecnologia DLP. Portanto, duas patentes não muito relacionadas à impressão 3D, mas que, por usarem a tecnologia DLP, acabaram ficando muito coesas e surgiram no trabalho. Contudo, não carecem de análise e são considerados resultados incorretos na base de dados.

VI.3 Rede de Citação entre Depositantes

Antes de abordar a rede de citação entre depositantes, faz-se necessário avaliar a quantidade de depósitos realizados pelas empresas e pelos indivíduos. A figura abaixo ilustra os 10 maiores depositantes, dentro do universo das 6.633 famílias de patentes originais, antes da redução para retirada das famílias que tratavam apenas de tecnologia *ink jet*.

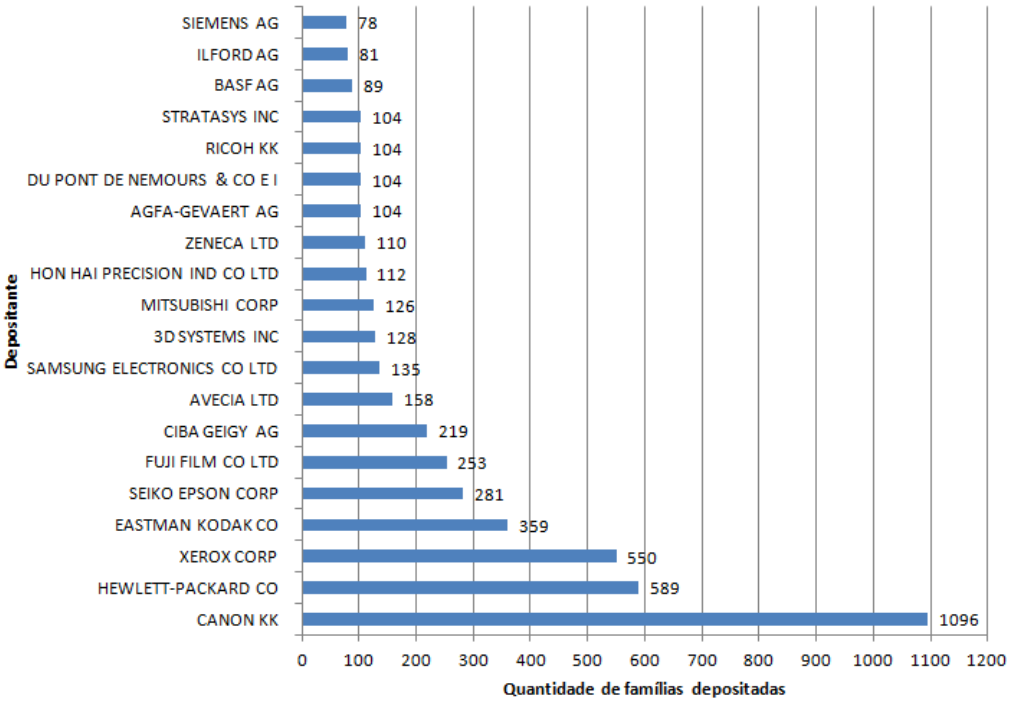


Figura VI.14 Top 20 depositantes contendo *ink jet printing*

As empresas com maiores quantidades de depósito são Canon, HP e Xerox, que têm muita tradição na indústria de impressão e suprimentos. Agora, o *ranking* depois da retirada das patentes que tratavam apenas de tecnologia *ink jet*.

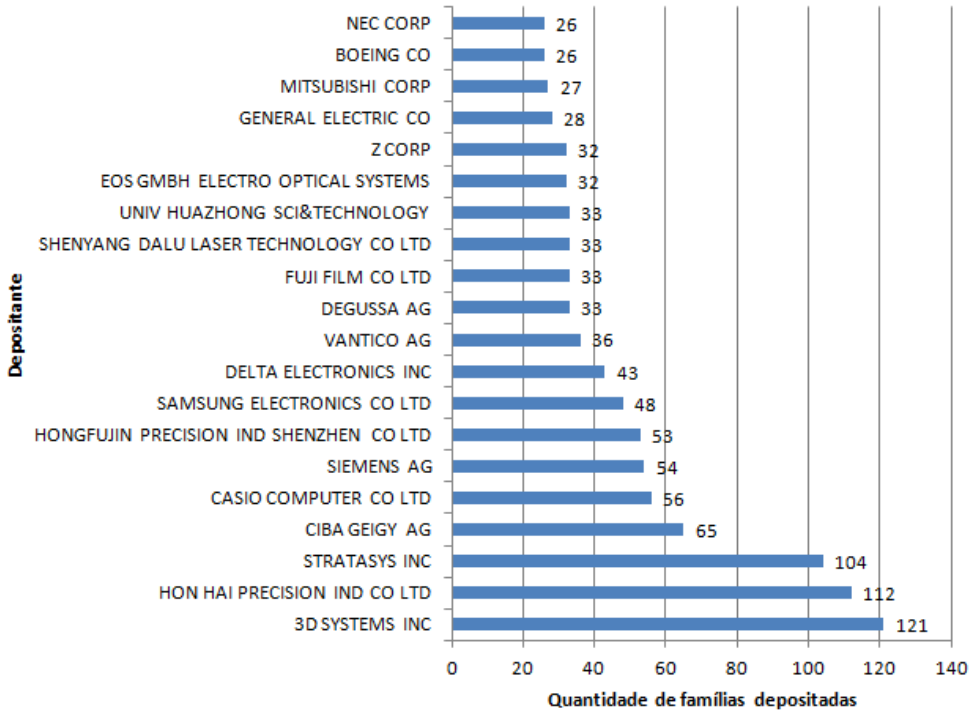


Figura VI.15 Top 20 depositantes

Os gráficos reafirmam a importância da higienização de dados realizada. O que antes apontava para empresas consolidadas de impressão em papel, agora mostra as empresas de impressão 3D de forma mais apropriada.

Como esperado, a 3D Systems e a Stratasys possuem a maior quantidade de depósitos, isso sem considerar as empresas menores que elas compraram e cujas patentes também se encontram sobre sua posse, por exemplo, a Z Corporation.

A empresa Hon Hai Precision Industries aparece como surpresa na lista. Avaliando as patentes dessa empresa, notamos que a área de atuação é de lentes para projeção de luz, ou seja, fabrica um conjunto de peças usadas nos equipamentos de impressão 3D. A Casio Computer, quinta da lista, a HongFujin, sétima da lista, e a Delta Electronics, nona da lista, também trabalham nessa área.

A empresa Ciba Geigy AG produz insumos químicos para os equipamentos, tais como líquidos e resinas fotossensíveis ou compostos fotocuráveis para stereolitografia. A Vantico AG, décima da lista, idem.

A Siemens trabalha com tecnologia de impressão 3D de objetos específicos, como turbinas ou moldes de ouvidos humanos para aparelhos auditivos.

A Samsung trabalha em toda a linha de produção de impressão 3D, produzindo insumos, aparelhos e até as peças emissoras do *laser*. Nota-se que há pesquisas em impressão de circuitos e *displays* LCD, com tintas compostas de componentes metálicos.

Esse levantamento da atuação das 10 top empresas depositantes mostra que as empresas se dividem entre: as gigantes que detém a tecnologia e fabricam os equipamentos de uso geral (3D Systems e Stratasys); as empresas que fornecem insumos para os equipamentos, sejam peças ou matéria-prima para a impressão; e as empresas que estão usando a tecnologia para desenvolvimento de produtos de ponta em áreas específicas, como a Siemens e a Samsung. A Boeing também surge mais abaixo na lista, trabalhando exatamente dessa forma.

Passando a analisar a rede de citação entre depositantes, alguns pontos de vista novos podem surgir. Como citado anteriormente, os vértices são as empresas que depositam as patentes, e os arcos são relações de citação para patentes depositadas por outras patentes. É uma rede de 465 vértices, 1.416 arcos, com 70 alças, em que um depositante cita a si mesmo em função de trabalhos passados. A densidade da rede é de 0,0065, e o grau médio é 6,09, considerados os graus de *input* e *output* somados.

A rede é apresentada a seguir.

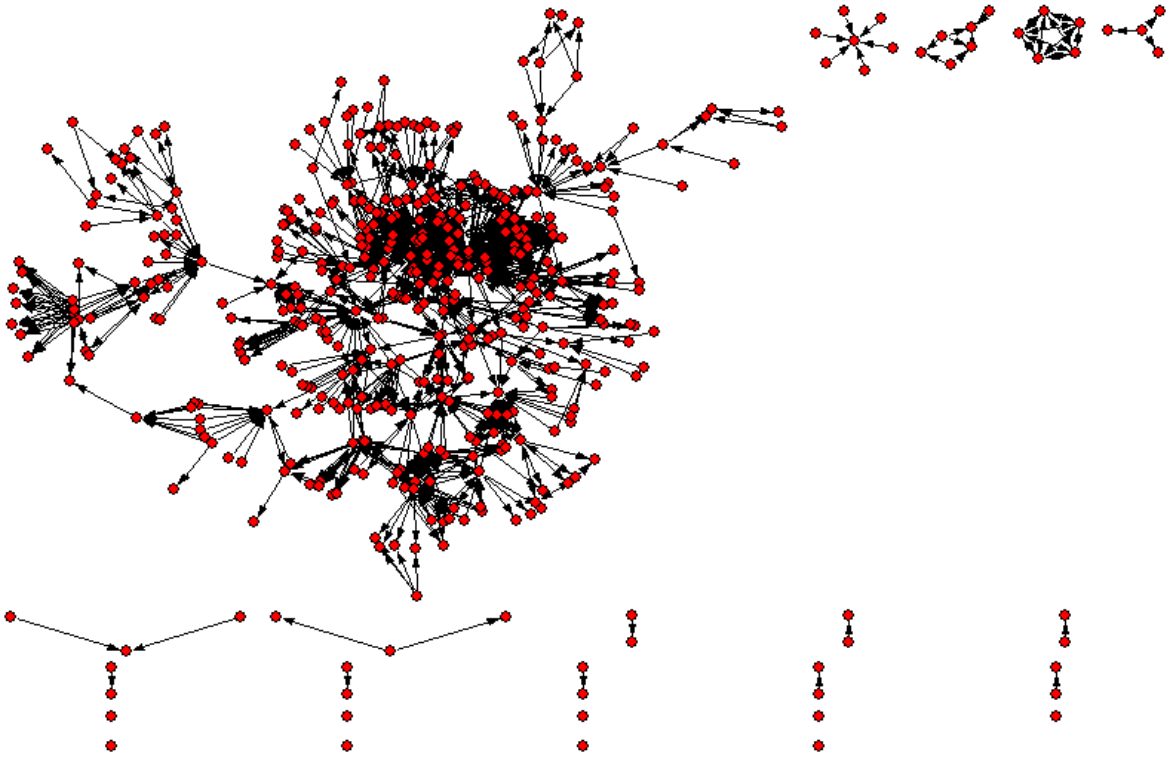


Figura VI.16 Rede de citação entre depositantes

Análises semelhantes podem ser feitas com a rede de citação entre depositantes. A rede possui uma componente gigante, com 89% dos vértices. A seguir, listamos as empresas depositantes com maiores graus de *output* para outros depositantes distintos.

Tabela VI.16 Top 10 graus de *output* na rede de citação entre depositantes

Depositante	Grau de *output*
3D SYSTEMS INC	72
Z CORP	39
DAIMLER-BENZ AG	30
UNIV TEXAS SYSTEM	21
UNIV CASE WESTERN RESERVE	19
NOVARTIS AG	16
SANDIA CORP	15
HEWLETT-PACKARD CO	15
THERICS INC	14
KECK GRADUATE INST	13

Pode-se observar que não aparece, no *ranking*, a Stratasys, o que mostra que a empresa não é muito citada por outras empresas.

Neste ponto, sabendo-se a quantidade de depósitos por depositante e a quantidade de citações por depositante, podemos propor uma medida relativa de utilidade das patentes de

uma empresa. Teoricamente, quanto mais citações uma patente possui, mais interessante é essa patente para outras empresas e para o mercado. O *ranking* a seguir lista os depositantes com mais de 50 citações, a quantidade de depósitos realizados e a relação entre os dois índices, chamada aqui de índice de utilidade.

Tabela VI.17 Top 10 índice de utilidade por depositante

Depositante	Quantidade de famílias	Quantidade de citações	Índice de utilidade
LEIBNIZ-INST POLYMERFORSCHUNG DRESDEN	1	7	7,0
UNIV BERLIN TECH	1	7	7,0
KECK GRADUATE INST	2	13	6,5
UNIV CASE WESTERN RESERVE	3	19	6,3
CORP Z	1	6	6,0
STELATSISI INC	1	6	6,0
AFBS INC	1	5	5,0
REVEO INC	2	9	4,5
VREX INC	2	9	4,5
SANDIA CORP	4	15	3,8

Podemos perceber que o *ranking* está dominado por empresas com poucas famílias depositadas, e estas foram citadas algumas vezes. Avaliando somente empresas com 10 ou mais depósitos, temos o cenário a seguir.

Tabela VI.18 Top 10 índice de utilidade por depositante relevante

Depositante	Quantidade de famílias	Quantidade de citações	Índice de utilidade
UNIV TEXAS SYSTEM	14	21	1,5
DAIMLER-BENZ AG	24	30	1,3
Z CORP	32	39	1,2
BEGO BREMER GOLDSCHLAEGEREI	15	12	0,8
HEWLETT-PACKARD CO	21	15	0,7
EVONIK DEGUSSA GMBH	16	11	0,7
3D SYSTEMS INC	121	72	0,6
MICRON TECHNOLOGY INC	12	7	0,6
DSM NV	22	12	0,5
MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY	17	9	0,5

A tabela anterior mostra que a Universidade do Texas, com suas patentes referentes à tecnologia de SLS, possui maior indicador de utilidade. A 3D Systems é a mais citada por possuir muitas famílias, no entanto, não é tão citada quanto poderia. Contudo, é bem mais citada que a Stratasys, que, novamente, não se destaca no *ranking*.

A seguir, são listadas as top 10 graus de *input*.

Tabela VI.19 Top 10 graus de *input* na rede de citação entre depositantes

Depositante	Grau de *input*
3D SYSTEMS INC	31
SIEMENS AG	27
STRATASYS INC	25
Z CORP	24
UNITED TECHNOLOGIES CORP	18
ENVISION TECHNOLOGIES GMBH	18
UNIV TEXAS SYSTEM	16
SANDIA CORP	16
KECK GRADUATE INST	16
VOXELJET TECHNOLOGY GMBH	14

Interessante notar que a Stratasys, enquanto não é citada, cita bastante outras empresas. A Siemens também surge bem cotada na citação de trabalhos de terceiros.

A seguir, são descritas as top 10 famílias com maior domínio de *output*.

Tabela VI.20 Top 10 domínios de *output* da rede de citação entre depositantes

Depositante	Domínio de *output*
DEGUSSA AG	165
EVONIK DEGUSSA GMBH	165
UNIV CASE WESTERN RESERVE	164
MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY	161
AFBS INC	161
METALLSCHLEIFEREI SCHULZ GMBH	161
3D SYSTEMS INC	160
STRATASYS INC	160
Z CORP	160
UNIV TEXAS SYSTEM	160

O resultado aqui foi curioso, na medida em que 27 empresas tiveram domínio igual ou superior a 160. O problema é que isso não cria diferenciação entre as empresas e não acrescenta muito às análises.

Dado o domínio de *output*, podemos listar o top 10 de proximidade de prestígio.

Tabela VI.21 Top 10 de proximidade de prestígio da rede de citação entre depositantes

Depositante	Proximidade de prestígio
3D SYSTEMS INC	0,19224
THERICS INC	0,14596
DAIMLER-BENZ AG	0,14596
Z CORP	0,14481
HEWLETT-PACKARD CO	0,14075
OBJET GEOMETRIES LTD	0,14003
STELATSISI INC	0,13862
DEGUSSA AG	0,13773
EVONIK DEGUSSA GMBH	0,13741
UNIV TEXAS SYSTEM	0,13457

Interessante notar que algumas empresas com grande domínio de *output* não figuram no top 10 de proximidade, o que leva a intuir que suas invenções são usadas diretamente por muitas empresas, mas estes nós estão distantes dentro da rede. Por exemplo, a Z Corporation usa tecnologia do MIT e depois a 3D Systems adquiriu a Z Corporation. Houve, a partir daí, citações entre as duas empresas. Portanto, todas as empresas que citam a 3D Systems, em um parentesco distante, acabam no domínio de *output* do MIT, porém pouco contribuem para sua proximidade de prestígio, que privilegia os nós mais próximos.

A tabela que segue mostra as top 10 maiores centralidades de proximidade, usadas medindo-se o *output* dos vértices, ou seja, os citados.

Tabela VI.22 Top 10 de centralidade de proximidade da rede de citação entre depositantes

Depositante	Centralidade de proximidade
3D SYSTEMS INC	0,19302
DAIMLER-BENZ AG	0,14656
THERICS INC	0,14656
Z CORP	0,14540
HEWLETT-PACKARD CO	0,14132
OBJET GEOMETRIES LTD	0,14060
STELATSISI INC	0,13919
DEGUSSA AG	0,13827
EVONIK DEGUSSA GMBH	0,13795
UNIV TEXAS SYSTEM	0,13512

Esse *ranking* mostrou resultado praticamente idêntico aos resultados obtidos em proximidade de prestígio.

Para as empresas, o Caminho Principal não agrega muita informação, dado que não há fluxo temporal de informações. Para entender o fluxo, foi criado um *ranking* de centralidade de intermediação (*betweenness*), apresentado a seguir.

Tabela VI.23 Top 10 de centralidade de intermediação da rede de citação entre depositantes

Depositante	Centralidade de intermediação
3D SYSTEMS INC	0,04268
UNIV TEXAS SYSTEM	0,02276
DSM NV	0,01178
STRATASYS INC	0,01162
DAIMLER-BENZ AG	0,00642
BOEING CO	0,00546
NORTHROP GRUMMAN CORP	0,00512
NOVARTIS AG	0,00505
Z CORP	0,00352
UNIV HUAZHONG SCI&TECHNOLOGY	0,00346

A centralidade de intermediação mostra que a 3D Systems possui um valor muito superior a todas as demais empresas. Associando essa informação às demais, onde recorrentemente percebemos que as patentes da 3D Systems estão bem posicionadas em diversos rankings produzidos, é seguro dizer que, analisando apenas as patentes, a 3D Systems é a empresa mais importante do mercado em termos de capital intelectual e liderança tecnológica.

Na rede de depositantes, diferentemente das demais redes, há muitos *loops*, sendo interessante avaliar os valores dos arcos entre as citações. Os valores dos arcos se distribuem conforme a tabela que segue.

Tabela VI.24 Distribuição dos valores dos arcos da rede de citação entre depositantes

Número de citações (valor do arco)	Número de arcos
132	1
116	1
87	1
62	1
53	1
Entre 52 e 20	8
Entre 19 e 10	16
Entre 9 e 3	195
2	225
1	967

A tabela mostra que um número pequeno de arcos possuem altíssimos valores e um número grande de arcos possuem valores muito baixos de citações. A avaliação dos arcos com valores altos indica as relações mais fortes entre empresas. A seguir, a tabela mostra os arcos de maior valor entre empresas.

Tabela VI.25 Arcos de maior valor entre empresas da rede de citação entre depositantes

Citada	Citante	Valor do arco
3D SYSTEMS INC	3D SYSTEMS INC	132
STRATASYS INC	STRATASYS INC	116
3D SYSTEMS INC	Z CORP	87
Z CORP	Z CORP	62
Z CORP	3D SYSTEMS INC	53
3D SYSTEMS INC	OBJET GEOMETRIES LTD	32
MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY	3D SYSTEMS INC	31
MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY	Z CORP	30
3D SYSTEMS INC	ENVISION TECHNOLOGIES GMBH	20
3D SYSTEMS INC	STRATASYS INC	19
OBJET GEOMETRIES LTD	OBJET GEOMETRIES LTD	13
UNIV TEXAS SYSTEM	3D SYSTEMS INC	13
3D SYSTEMS INC	CORP Z	13
OBJET GEOMETRIES LTD	STRATASYS INC	13
DEGUSSA AG	DEGUSSA AG	12
3D SYSTEMS INC	VOXELJET TECHNOLOGY GMBH	12
3D SYSTEMS INC	THERICS INC	12
UNIV TEXAS SYSTEM	UNIV TEXAS SYSTEM	11
DEGUSSA AG	EVONIK DEGUSSA GMBH	11
THERICS INC	Z CORP	11

Nota-se que há *loops* com arcos com altos valores entre as empresas que produzem muitas patentes. Isso era esperado, dado que os trabalhos iniciais são citados por trabalhos posteriores da mesma empresa.

Contudo, a tabela mostra forte relacionamento entre a 3D Systems e a Z Corporation, mostrando que a compra da segunda pela primeira resultou em muitos trabalhos posteriores com citações mútuas, dando a entender que ocorreram ganhos em termos das pesquisas e invenções da 3D Systems com essa aquisição.

A Stratasys cita bastante a ela própria e sua concorrente 3D Systems nesse *ranking* entre citados e citantes. A Objet Geometries foi adquirida pela Stratasys, e 13 citações da Stratasys para famílias da Objet Geometries aparecem na rede e no *ranking*. Diferentemente da 3D Systems, a Stratasys não parece empoderar e dar continuidade às pesquisas das empresas que ela compra, dado que, na base, não há sequer uma citação da Objet Geometries para a Stratasys. A empresa parece incorporar a tecnologia e descontinuar a pesquisa de sua subsidiária. Para efeito de comparação, a Z Corporation aparece bastante no *ranking*, citando diversas empresas e a própria 3D Systems.

VI.4 Análise de áreas dos códigos IPC

Um último conjunto interessante de resultados é o que demonstra o uso dos códigos IPC nos registros das patentes.

Na base obtida, há 9.234 usos de códigos IPC nas 2.386 famílias de patentes. A maior parte dos códigos é das seções B (operações e transporte), C (química e metalurgia) e G (física), como demonstra a tabela a seguir.

Tabela VI.26 Evolução do uso das seções do código IPC

Seção	1970 (49 registros)	1980 (175 registros)	1990 (1.360 registros)	2000 (4.532 registros)	2010 (3.118 registros)	Total (9.234 registros)
B	34,69%	33,71%	34,04%	32,08%	38,49%	34,58%
C	26,53%	29,14%	34,71%	17,74%	21,04%	21,62%
G	16,33%	23,43%	21,99%	31,11%	22,35%	26,59%
H	16,33%	8,00%	5,66%	10,28%	7,47%	8,64%
F	6,12%	1,14%	0,74%	3,22%	4,07%	3,12%
E	0,00%	0,00%	0,37%	0,35%	0,64%	0,44%
A	0,00%	4,57%	1,47%	4,99%	4,62%	4,31%
D	0,00%	0,00%	1,03%	0,22%	1,31%	0,70%

A seção B registra os equipamentos usados na tecnologia. Essa seção possui o maior percentual de famílias em todas as décadas. Houve um declínio forte do uso da seção C na década de 2000, em função de um pico de uso da seção G, de Física, e outro da seção H, de Eletricidade.

Aumentando o nível de detalhe, pode-se analisar o uso das classes do código IPC.

Tabela VI.27 Evolução do uso das classes do código IPC

Classe	1970 (49 registros)	1980 (175 registros)	1990 (1.360 registros)	2000 (4.532 registros)	2010 (3.118 registros)	Total (9.234 registros)
B29	0,00%	6,86%	14,12%	12,42%	10,42%	11,83%
G03	16,33%	18,86%	15,22%	12,38%	8,34%	11,58%
C08	0,00%	1,14%	19,04%	8,58%	5,10%	8,76%
B23	4,08%	6,29%	4,85%	5,67%	8,88%	6,64%
G02	0,00%	0,00%	0,88%	8,30%	6,77%	6,49%
B22	24,49%	3,43%	4,19%	4,85%	6,86%	5,51%
C23	0,00%	4,00%	2,43%	2,74%	8,60%	4,68%
G06	0,00%	0,57%	2,94%	4,46%	3,18%	3,70%
H04	0,00%	1,14%	0,88%	4,26%	3,85%	3,54%
C22	22,45%	20,00%	3,60%	2,10%	4,33%	3,52%
H01	8,16%	5,71%	4,04%	4,06%	2,21%	3,49%
A61	0,00%	4,57%	1,25%	3,86%	3,18%	3,24%
B41	4,08%	12,57%	6,03%	1,99%	3,08%	3,16%
B05	0,00%	2,86%	1,62%	2,14%	3,01%	2,36%
G09	0,00%	0,57%	0,59%	2,67%	2,60%	2,29%
Outras	20,41%	11,43%	18,31%	19,53%	19,60%	19,22%

A classe líder em total de uso é a B29, que trata sobre trabalhos em plástico. Logo atrás, vem a G03, que trata sobre fotografia, cinematografia, electrografia e holografia, que inclui o uso de materiais fotossensíveis.

A terceira classe mais usada é a C08, que trata da composição de materiais macromoleculares, como fibras, filamentos e outros. Portanto, temos três classes que tratam de equipamentos, tecnologia e materiais para impressão 3D com elementos fotossensíveis. Contudo, há de se notar que a participação dessas classes vem caindo década após década, desde o pico em 1990.

Por outro lado, houve forte crescimento, na década de 2000, do uso da classe G02, que trata de ótica. Também cresceram, com constância, as classes B23 e B22, que referem-se a trabalhos com metais ou pó de metais.

É muito importante notar que, na década de 2010, houve aumento de mais de 100% do uso da classe C23, que trata de revestimento de materiais metálicos, revestimento de materiais com materiais metálicos e tratamentos de superfícies.

Observa-se, portanto, um resultado interessante: há tendência de queda do volume de invenções na área de plásticos e incremento de invenções relacionadas a metais e acabamentos. De fato, entre os equipamentos de uso residencial, a grande maioria trabalha apenas com plástico ou variações de plástico, e pode haver demanda reprimida.

Na seção de Eletricidade, houve crescimento, na década de 2000, das invenções da classe H04, do assunto comunicação com uso de imagens.

As descer mais um nível no código IPC, há o seguinte cenário registrado de uso das subclasses.

Tabela VI.28 Evolução do uso das subclasses do código IPC

Subclasse	1970 (49 registros)	1980 (175 registros)	1990 (1.360 registros)	2000 (4.532 registros)	2010 (3.118 registros)	Total (9.234 registros)
B29C	0,00%	4,00%	12,28%	11,43%	9,94%	10,85%
G03B	0,00%	1,71%	0,22%	8,23%	6,09%	6,16%
B23K	4,08%	6,29%	4,49%	4,90%	7,63%	5,78%
G02B	0,00%	0,00%	0,81%	6,91%	6,25%	5,62%
C23C	0,00%	4,00%	2,43%	2,74%	8,60%	4,68%
G03F	0,00%	3,43%	9,34%	3,44%	1,92%	3,78%
B22F	0,00%	0,00%	2,28%	3,02%	5,32%	3,62%
H04N	0,00%	0,57%	0,59%	3,93%	3,46%	3,19%
G06F	0,00%	0,57%	1,84%	2,85%	2,28%	2,45%
C08F	0,00%	0,57%	8,82%	1,32%	1,03%	2,31%
C08L	0,00%	0,57%	3,68%	2,34%	1,57%	2,23%
G09G	0,00%	0,57%	0,29%	2,38%	2,34%	2,01%
H01L	4,08%	3,43%	1,99%	2,52%	0,83%	1,90%
C22C	6,12%	2,29%	1,18%	0,84%	3,40%	1,81%
C08K	0,00%	0,00%	1,10%	2,16%	1,38%	1,69%
C22B	10,20%	17,71%	2,43%	1,17%	0,83%	1,60%
B41J	0,00%	1,14%	3,75%	0,86%	1,80%	1,60%
Outras	75,51%	53,14%	42,50%	38,97%	35,31%	38,72%

A subclasse B29C é a líder de uso ao tratar de modelagem e junção de substâncias de plástico. A G03B trata sobre aparelhos para tirar, projetar ou ver fotografias. A C08F e C08L tratam da composição de compostos macromoleculares, e sobre processos e catalisadores para reações de materiais macromoleculares, respectivamente. Essas são as subclasses que vêm apresentando declínio, juntamente com a C22B, que trata de metalurgia e produção ou refinamento de metais, bem como de pré-tratamento de matérias-primas.

Em compensação, há crescimento, nas últimas décadas, da C22C, que classifica o trabalho com ligas metálicas; da C23C, que trata de revestimento metálico por processos químicos; da B23K, que é usada para classificar máquinas para trabalho de metais com soldagem e com feixes de *laser* por aplicação local de calor; e da B22F, usada para classificar máquinas que trabalham com pó de metais.

Importante reparar no forte crescimento, na década de 2000, da subclasse G03B, já descrita, e da G02B, sobre aparatos ópticos – no caso, usado nas impressoras 3D.

Novamente, as classificações crescem ao longo do tempo para máquinas e tecnologias que trabalham com metais e decresce para máquinas que trabalham com plástico.

Complementando, a subclasse H04N trata de sistemas de televisão ou equipamentos que receberão sinais de televisão.

Há, ainda, mais dois níveis no código IPC, mas os resultados ficam cada vez mais fragmentados em termos de percentuais e há apenas um refinamento da descrição dos resultados mostrados acima.

VI.5 Resumo das análises

Ao longo do capítulo, foram feitas análises sob diversas óticas, que são aqui retomadas.

Sob a ótica de evolução da tecnologia, foi possível avaliar, por meio da série temporal de novas famílias de patentes, que, na década de 2010, novas famílias estão surgindo, em maiores quantidades frente às décadas passadas. Isso sugere uma aceleração do desenvolvimento tecnológico, confirmada pelo *fitting* dos dados na Curva-S.

Sob a ótica de poderio tecnológico, percebeu-se que a empresa 3D Systems possui as patentes mais relevantes, dominando praticamente todos os *rankings* das redes de citação, com e sem *spillover,* e muitas famílias de patentes dos caminhos principais calculados. Além disso, foi visto que suas patentes são as mais usadas por outras empresas e que ela realizou aquisições de outras concorrentes, cujas patentes estão sob seu controle agora.

Sob a ótica de tendências das invenções registradas, o estudo dos códigos IPC indica maior pesquisa em técnicas, equipamentos e insumos relacionados a acabamentos e produções usando metais, em detrimento do uso de plástico que consolidou a impressão 3D no mercado de uso residencial. Há também sugestão de mais pesquisas em equipamentos que

produzam objetos com mais de um insumo diferente, sejam plásticos diferentes ou misturas de plásticos com metais ou outros materiais.

Por fim, é interessante ressaltar que o *ranking* de empresas depositantes não é composto integralmente de empresas que detêm a tecnologia e fabricam os equipamentos de impressão 3D. O *ranking* é composto também de empresas químicas que fornecem os insumos, empresas de peças para as impressoras e empresas que aplicam a tecnologia em diversos ramos, da aviação até a saúde. Isso mostra a importância que a sinergia entre empresas possui para a evolução e propagação da tecnologia para variados produtos, mercados e fins.

Capítulo VII - Conclusões

Este trabalho procurou mostrar como ocorreu a evolução da tecnologia da manufatura aditiva, seus principais envolvidos e alguns possíveis cenários futuros para essa evolução.

Como visto no capítulo anterior, de acordo com o modelo de crescimento logístico, o estudo indica que a tecnologia está em um ponto de aceleração do desenvolvimento, não tendo chegado ainda ao ponto médio, em que se obtém a metade das famílias previstas. A tendência, baseada nas condições atuais, é que isso ocorra no ano de 2023.

Já segundo o modelo de Utterback e Abernathy, o trabalho sugere que a tecnologia está em fase de transição, principalmente em função do uso industrial. Já se percebe que as máquinas estão em evolução e há competição para retirada de diferencial, mas não a ponto ainda de haver foco principal em redução de custos e ganho de eficiência. O uso residencial estaria em evolução da fase fluida para a fase de transição, pois ainda há diferenciação entre as empresas baseada nas características dos produtos, como bem ilustra a revista *Make:*, em artigo de France et al (2015).

Esse caráter dual também é visto no *Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies* (2015), que mostra que o mercado industrial está mais próximo da maturidade que o mercado residencial. Segundo Gartner, o mercado residencial está entre cinco e 10 anos distante da maturidade. De acordo com a análise feita do modelo de crescimento logístico, há indícios que deveremos, daqui a sete anos, sair da fase de crescimento e entrar na fase de maturidade.

Teve de ser feita uma filtragem de patentes relativas apenas à impressão com jato de tinta como forma de retirar ruído da base, após alguns resultados obtidos serem equivocados. Se, em trabalhos futuros, houver disponibilidade de especialistas no assunto, uma filtragem das patentes pelos especialistas, como fizeram Yoon et al (2014), deve reduzir o ruído, evitar retrabalhos e melhorar os resultados.

Um ponto de melhoria na metodologia descrita no trabalho é uma fase de incorporação de patentes à base. Em determinado ponto do processamento, foram levantadas todas as citações feitas pelas famílias que foram baixadas da base *Derwent* e foram excluídas aquelas citações em que os citados não estavam na base. Nesse ponto, são perdidas famílias que não se encaixaram entre os critérios da *string* de busca original, mas que podem ser relevantes no contexto da tecnologia. Talvez uma abordagem em que se verifique se há alguma família muito citada que será descartada seja interessante, de modo a trazer essa invenção possivelmente relevante para dentro do trabalho.

Outra evolução que pode vir a ser feita é uma melhor identificação de materiais e tecnologias trabalhadas por cada família de patentes. Hoje, essa informação consta, eventualmente, do resumo da família de patente. Se fossem aplicadas técnicas de mineração

de dados e uso de uma ontologia relativa à impressão 3D, seria possível traçar, em paralelo aos caminhos principais, quais técnicas e materiais são abordados pelas famílias, em vez de uma dependência de avaliação manual de cada família pelo pesquisador, o que dificulta uma avaliação da evolução ao longo do tempo. Talvez seja possível, inclusive, criar e analisar redes baseadas nas tecnologias ou nos materiais, em vez de redes baseadas em empresas ou citações, como as criadas nesse trabalho.

O uso da técnica de *spillover* de conhecimento foi um diferencial no trabalho e conseguiu trazer à luz um pouco das famílias da Stratasys. Em especial, o Caminho Principal computado pelo método *key-route* incluiu famílias vistas na rede sem *spillover* e adicionou outras famílias interessantes, enriquecendo a análise. Em função deste trabalho, a recomendação para outros trabalhos semelhantes seria montar a rede de *spillover* e calcular o Caminho Principal com *key-route* para se conseguir um Caminho Principal mais diversificado, que permita análise mais ampla. Inclusive, isso propicia o surgimento, no Caminho Principal, de invenções relativas a materiais, suprimentos e peças, não apenas das técnicas e dos equipamentos de impressão 3D.

Como visto na análise de usos dos códigos IPC, há indícios de que as impressoras de uso residencial passarão a trabalhar mais com metais e menos com plástico. O acabamento das peças será melhorado substancialmente, como indicam as invenções mais recentes. O uso de cores nos objetos, como implantado pela Z Corporation, tende a se alastrar, pois parece ser uma necessidade dos usuários.

O estudo também sugere que, no futuro, uma quantidade maior de impressoras residenciais poderão imprimir objetos usando diversos materiais como matéria-prima. Com isso, elementos muito mais complexos poderão ser gerados. Como muitas técnicas são baseadas em pequenas partículas sendo unificadas com uso de *laser*s, aglutinantes ou feixes de elétrons, poderão surgir máquinas que consigam trabalhar com diversos materiais depositados ao longo da impressão, usando o *laser* ou o aglutinante de diferentes formas, uma para cada tipo de material, como forma de fusão ou aglutinação.

Em termos de mercado, o trabalho aponta que a empresa 3D Systems será líder de mercado por muito tempo. Com uma política forte de aquisições e controle de patentes de diversas áreas, a empresa tem cada vez mais se consolidado como líder. As diversas análises realizadas indicam que suas patentes são as mais importantes, e muitas outras empresas as usam para desenvolver produtos.

O uso do mecanismo de patentes para registro de invenções e controle do saber nelas declarado gera um ciclo vicioso, em que o saber gera poder, lucro, que é reinvestido em pesquisa e desenvolvimento, gerando mais saber. Isso é reflexo dos pensamentos de Michel Foucault em sua obra, notadamente, no livro *Vigiar e Punir* (2000). A reserva de mercado temporária, representada pelo *lead time* em que uma empresa pode trabalhar na

comercialização do produto de forma exclusiva, é fundamental para a geração do poder, tangibilizado por um diferencial competitivo criado pelo saber.

O trabalho mostrou que a Stratasys executou a compra da Objet Geometries para entrar no mercado de impressão de metais com mais intensidade, pois essa parece ser a tendência de consumo no curto e médio prazo. Contudo, ainda estamos em um período em que muitas patentes importantes da década de 90 estão se tornando públicas, em especial, patentes das tecnologias que trabalham com metais, de modo que se podem esperar novidades no mercado de uso residencial nesse sentido. Assim como as empresas para esse público surgiram com os objetos de plástico, o estudo indica a tendência de surgimento dos equipamentos para criação de objetos metálicos, motivados pelas patentes recém-tornadas públicas. E essa nova situação pode abalar a situação das empresas líderes ou forçá-las a novas aquisições.

Todas as indicações e tendências demonstradas se basearam em dados consolidados até 2013 e publicações realizadas até 2015. Com base nesses dados e nas condições atuais, há forte possibilidade de as indicações e tendências indicadas no estudo se concretizarem. Obviamente, é possível que novas invenções disruptivas surjam nos próximos anos e levem a cenários futuros diferentes daqueles aqui vislumbrados.

Ao fim deste trabalho, parece ao pesquisador irreversível a condição de mudança que a tecnologia impõe ao mercado e aos consumidores. Empresas e pessoas tendem, cada vez mais, a fabricar peças e produtos sob medida e sob demanda. Isso afetaria cadeias de suprimento, técnicas e volumes de estoques de peças, tempos para atendimento de clientes, customização de produtos. O potencial de mudança que essa tecnologia possui parece realmente ser promissor, e fabricações de alimentos, próteses, cigarros e diversos outros tipos de materiais demonstra isso. Há possibilidade, por exemplo, de vermos, no Brasil, nos próximos anos, o surgimento de pequenos *bureaus* de impressão 3D, como já há no exterior. O Brasil pode ainda estar longe de ser uma ponta de lança no desenvolvimento dessa tecnologia, mas, mesmo que de forma tardia, ela chegará ao nosso mercado consumidor e a indústrias aqui instaladas. Parece ser apenas uma questão de tempo.

Referências Bibliográficas

3D printing scales up. **The Economist**, 2013. Disponível em: <http://www.economist.com/news/technology-quarterly/21584447-digital-manufacturing-there-lot-hype-around-3d-printing-it-fast>. Acesso em: 01 fev. 2015.

ALTUNTAS, S.; DERELI, T.; KUSIAK, A. Forecasting technology success based on patent data. **Technological Forecasting & Social Change,** v. 96, p. 202-214, 2015.

ANGUE, K.; AYERBE, C.; MITKOVA, L. A method using two dimensions of the patent classification for measuring the technological proximity: an application in identifying a potential R&D partner in biotechnology. **J Technol Transf**, v. 39, p. 716-747, 2014.

ASTM International. **F2792:** Standard terminology for additive manufacturing technologies. West Conshohocken, 2013.

ATZENI, E.; SALMI, A. Economics of additive manufacturing for end-usable metal parts. **International Journal of Advanced Manufacturing Technologies**, v. 62, n. 9-12, p. 1147-1155, 2012.

AUTODESK, I. **Creative Applications for Makers**. 2015. Disponível em: <http://www.123dapp.com/create>. Acesso em: 05 maio 2015.

BATAGELJ, V.; MRVAR, A. **Pajek** – analysis and visualization of large networks. Berlim: Springer, 2003.

CRUMP, S. S. **Apparatus and method for creating three-dimensional objects**. US5121329 A, 30 out. 1989, 09 jun. 1992.

DAIM, T. U. et al. Forecasting emerging technologies: use of bibliometrics and patent analysis. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 73, n. 8, p. 981-1012, 2006.

DE NOOY, W.; MRVAR, A.; BATAGELJ, V. **Exploratory network analysis with Pajek**. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2005.

DECKERS, J.; VLEUGELS, J.; KRUTH, J.-P. Additive manufacturing of ceramics: a review. **J. Ceramic Science and Technology**, v. 5, n. 4, p. 245-260, 2014.

ERNST, H. The Use of Patent Data for Technological Forecasting: The Diffusion of CNC-Technology in the Machine Tool Industry. **Small Business Economics,** v. 9, n. 4, p. 361-381, 1997.

EUCHNER, J. Patents and the innovation incentive: an interview with Jim Bessen: Jim Bessen talks with James Euchner about the role of patents in encouraging-or discouraging-innovation. **Research-Technology Management**. v. 57, n. 5, p. 12-24, 2014.

FENNER DRIVES, I. **Flexible 3D Printer Filament**. 2015. Disponível em: <http://www.ninjaflex3d.com/products/ninjaflex-filaments/>. Acesso em: 05 maio 2015.

FIRAT, A. K.; WOON, W. L.; MADNICK, S. Technological forecasting – a review. **Working Paper CISL**. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2008-15, 2008.

FOUCAULT, M. **Vigiar e Punir**. São Paulo: Vozes, 2001.

FRANCE, A. K. et al. 3D Evolution. **Make:**, Sebastopol, v. 42, p. 30-77, nov. 2014.

FRAZIER, W. E. Metal additive manufacturing: a review. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 23, n. 6, p. 1917-1928, 2014.

GAO, L. et al. Technology life cycle analysis method based on patent documents. **Technological Forecasting and Social Change,** v. 80, n. 3, p. 398-407, 2013.

GAO, W. et al. The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. **Computer-Aided Design**, v. 66, set. 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448515000469>. Acesso em: 05 maio 2015.

GARTNER. **Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies the Computing Innovations That Organizations Should Monitor**. 2015. Disponível em: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3114217>. Acesso em: 10 jan 2016.

HALL, B. H.; JAFFE, A.; TRAJTENBERG, M. Market value and patent citations. **RAND Journal of Economics**, v. 36, n. 1, p. 16-38, 2005.

HO, J. C. et al. Technological barriers and research trends in fuel cell technologies: a citation network analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 82, p. 66-79, 2014.

HUANG, S. H. et al. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. **Int J Adv Manuf Technol**, v. 67, n. 05, p. 1191-1203, 2013.

HULL, C. W. **Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography**. US4575330 A, 08 ago. 1984, 11 mar. 1986.

HUMMON, N. P.; DOREIAN, P. Connectivity in a citation network: the development of DNA theory. **Social Networks**, v. 11, n. 1, p. 39-63, 1989.

KIETZMANN, J.; PITT, L.; BERTHON, P. Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. **Business Horizons,** v. 58, n. 2, p. 209-215, 2015.

KRUTH, J.-P.; LEU, M. C.; NAKAGAWA, T. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 47, n. 1, p. 525-540, 1998.

LEVY, G. N.; SCHINDEL, R.; KRUTH, J. P. Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (lm) technologies, state of the art and future perspectives. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 52, n. 2, p. 589-609, 2003.

LIPTON, J. I. et al. Additive manufacturing for the food industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 43, n. 1, p. 114-123, 2015.

LIU, J. S.; LU, L. Y. Y. An Integrated Approach for Main Path Analysis: Development of the Hirsch Index as an Example. **Journal of the American Society for Information Science and Technology,** v. 63, n. 3, p. 528-542, 2012.

MAKERBOT INDUSTRIES, L. **Thingiverse - digital design for physical objects**. 2015. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/>. Acesso em: 05 maio 2015.

MAKEXYZ.COM. **3D printing services in your neighborhood**. 2015. Disponível em: <http://www.makexyz.com/>. Acesso em: 05 maio 2015.

MANYIKA, J. et al. **Disruptive technologies**: advances that will transform life, business, and the global economy.[S.l.]: McKinsey & Company, 2013.

MEYER, P. S.; YUNG, J. W.; AUSUBEL, J. H. A Primer on Logistic Growth and Substitution: The Mathematics of the Loglet Lab Software. **Technological Forecasting and Social Change,** v. 61, p. 247-271, 1999.

MILANEZ, D. H. et al. Patents in nanotechnology: an analysis using macro-indicators and forecasting curves. **Scientometrics,** v. 101, n. 2, p. 1097-1112, 2014.

NASA. **International Space Station's 3-D Printer**. 2014. Disponível em: <https://www.nasa.gov/content/international-space-station-s-3-d-printer>. Acesso em: 05 maio 2015.

NEWMAN, M. E. J. Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. **Proceedings of the National Academy of Sciences,** v. 101, n. supl 1, p. 5200-5205, 2004.

OTTE, E.; ROUSSEAU, R. Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences. **Journal of Information Science**, v. 28, n. 6, p. 441-453, 2002.

PHAM, D. T.; GAULT, R. S. A comparison of rapid prototyping technologies. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 38, n. 10-11, p. 1257-1287, 1998.

SOUZA, C. G. de; BARBASTEFANO, R. G.; LIMA, L. S. de. Redes de colaboração científica na área de química no Brasil: um estudo baseado nas coautorias dos artigos da revista Química Nova. **Química Nova**, v. 35, n. 4, p. 671-676, 2012.

THIESSE, F. et al. Economic Implications of Additive Manufacturing and the Contribution of MIS. **Business & Information Systems Engineering,** v. 57, n. 2, p. 139-148, 2015.

TRAJTENBERG, M. A penny for your quotes: patent citations and the value of innovations. **RAND Journal of Economics**, v. 21, n. 1, p. 172-187, 1990.

USPTO. **General Information Concerning Patents**. 2015. Disponível em: <http://www.uspto.gov/patents-getting-started/general-information-concerning-patents>. Acesso em: 06 maio 2015.

UTTERBACK, J. M.; ABERNATHY, W. J. A dynamic model of process and product innovation. **Omega,** v. 3, n. 6, p. 639-656, 1975.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social network analysis**: methods and applications. Melbourne: Cambridge University Press, 1994.

WELLER, C.; KLEER, R.; PILLER, F. T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. **Int. J. Production Economics**, n. 164, p. 43-56, 2015.

WIPO. **Guide to the IPC**. 2014. Disponível em: <http://www.wipo.int/export/sites/www/classifications/ipc/en/guide/guide_ipc.pdf>. Acesso em: 05 maio 2015.

WIPO. **WIPO - World Intellectual Property Organization**. 2015. Disponível em: <http://www.wipo.int/>. Acesso em: 05 maio 2015.

XIANG, X.-Y. et al. International knowledge spillover through co-inventors: an empirical study using chinese assignees' patent data. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 1, p. 161-174, 2013.

YAN, X.; GU, P. A review of rapid prototyping technologies and systems. **Computer-Aided Design**, v. 28, n. 4, p. 307-318, 1996.

YEONG, W.-Y. et al. Rapid prototyping in tissue engineering: challenges and potential. **Trends in Biotechnology**, v. 22, n. 12, p. 643-652, 2004.

YOON, J. et al. Tracing evolving trends in printed electronics using patent information. **Journal of Nanoparticle Research,** v. 16, n. 7, p. 1-15, 2014.

ZHU, D.; PORTER, A. L. Automated extraction and visualization of information for technological intelligence and forecasting. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 69, n. 5, p. 495-506, 2002.