

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

CARLA CAROLINA CALIANI FRANCHINI DE ALMEIDA

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA A MÉDIO E LONGO PRAZO

SOBRE O DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÕES DA

NANOTECNOLOGIA EM MATERIAIS POLIMÉRICOS

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP, para obtenção do título de Mestre na área de Ciência e Tecnologia dos Materiais.

ORIENTADOR: WAGNER DOS SANTOS OLIVEIRA

CAMPINAS, 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

F846p	<p>Franchini de Almeida, Carla Carolina Caliani</p> <p>Prospecção tecnológica a médio e longo prazo sobre o desenvolvimento e aplicações da nanotecnologia em materiais poliméricos / Carla Carolina Caliani Franchini de Almeida. --Campinas, SP: [s.n.], 2012.</p> <p>Orientador: Wagner dos Santos Oliveira.</p> <p>Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.</p> <p>1. Delphi, método. 2. Prospecção. 3. Nanotecnologia. 4. Compósitos poliméricos. I. Oliveira, Wagner dos Santos, 1947-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III. Título.</p>
-------	---

Título em Inglês: Technological prospection on medium and long term on the development and applications of nanotechnology in polymeric materials

Palavras-chave em Inglês: Delphi Method, Prospection, Nanotechnology, polymer composites

Área de concentração: Ciência e Tecnologia dos Materiais

Titulação: Mestra em Engenharia Química

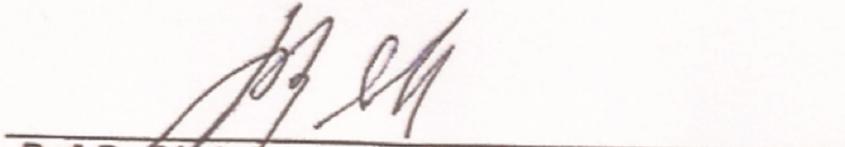
Banca examinadora: Sérgio Luiz Monteiro Salles Filho, Afonso Rodrigues de Aquino

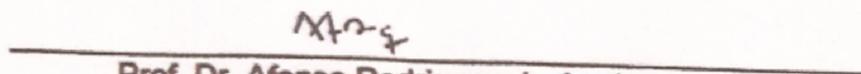
Data da defesa: 22-06-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Química

Dissertação de Mestrado defendida por Carla Carolina Callani Franchini de Almeida e aprovada em 22 de junho de 2012 pela banca examinadora constituída pelos doutores:

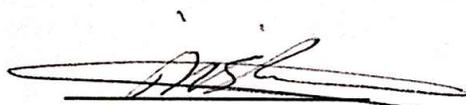

Prof. Dr. Wagner dos Santos Oliveira - FEQ/UNICAMP


Prof. Dr. Sérgio Luiz Monteiro Salles Filho – IG/UNICAMP


Prof. Dr. Afonso Rodrigues de Aquino - IPEN

Este exemplar corresponde à versão final da dissertação Prospecção Tecnológica a médio e longo prazo sobre o desenvolvimento e aplicações da nanotecnologia em materiais poliméricos

Defendida pela aluna Carla Carolina Caliani Franchini De Almeida, e orientada pelo Prof. Dr. Wagner dos Santos Oliveira



Orientador: Wagner dos Santos Oliveira

CAMPINAS, 2012

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por tudo o que conquistei até este momento. Agradecer ao prof. Dr. Wagner pela oportunidade, a atenção, os debates e principalmente por sua paciência. Agradecer a Faculdade de Engenharia Química da Unicamp e a CAPES.

Um agradecimento especial ao meu amado esposo, que sempre me apoia e se faz presente em todos os momentos importantes da minha vida. Aos meus pais Vera Lucia e Pedro pelo esforço e perseverança, aos meus irmãos Fernanda e Neto, pelo carinho e amizade e toda a minha família, tios, tias, primos, avós, avôs (vivos e falecidos).

Um carinho ao meu amigo Garbas, por ter me incentivado a realizar o mestrado e buscar sempre o melhor. A todos os meus amigos por acreditarem em mim!

RESUMO

O desenvolvimento e a aplicação de novas propriedades de materiais e de novos materiais propriamente ditos, tem sido um grande objetivo dos pesquisadores. Estamos em uma etapa do conhecimento científico-tecnológico onde a nanotecnologia, em particular, está se tornando presente em todas as áreas da ciência e da tecnologia. Desta forma, os pesquisadores estão investigando maneiras de recorrerem à nanotecnologia em alta escala, determinando suas características a fim de utilizá-las adequadamente, proporcionando novos tipos de materiais. Uma das áreas de P&D em nanotecnologia, importantes nas atividades acadêmicas e industriais, está voltada para os materiais poliméricos, em nanocompósitos.

Este trabalho teve como principal finalidade conhecer como a nanotecnologia se faz presente nos materiais poliméricos, recorrendo aos pesquisadores/especialistas na área, e investigar quais as possibilidades futuras de utilização destes novos materiais junto à sociedade como um todo, por meio da de prospecção tecnológica.

Todavia, para uma prospecção adequada, neste caso determinado, é necessário a utilização de ferramentas próprias, para se obter uma resposta cujas possibilidades sejam próximas às reais.

Recorreu-se aqui, à Metodologia Delphi, que utiliza conhecimento de especialistas em áreas de específicas, afim de obter dados através de questionários capazes de representar cenários futuros, num âmbito de probabilidades subjetivas, cujas respostas possam ser tratadas por métodos matemáticos.

Palavras-chaves: Prospecção tecnológica, Método Delphi, nanotecnologia, materiais poliméricos.

ABSTRACT

The development and the applications of new properties of already known materials and new materials properly said, has been researchers' main objective. We are in a phase of scientific and technological knowledge where the nanotechnology is becoming present in all science and technology fields. Thus, the researchers are investigating ways to resort to the nanotechnology on a large scale, determining its characteristics in order to use them properly, providing new types of materials. One of the R&D fields in nanotechnology is focused on polymeric materials, in nanocomposites, which are present in academic and industrial activities.

This study had as main objective to acquire the knowledge of how the nanotechnology is present in polymeric materials, resorting to researchers/ specialists in the field, to know which are the future possibilities of these new materials in the society, as a whole, through technological prospection.

However, in order to obtain a prospection of the future in this determined case, it is necessary to use the appropriate tools, in order to obtain an answer which possibilities are close to the real ones.

It was used the Delphi Method, which uses the specialists' knowledge in a specific area, in order to obtain data through questionnaires that may represent future scenarios, in an ambit of subjective probabilities, whose answers can be treated by mathematical methods.

Keywords: technological prospection, Delphi Method, nanotechnology, polymeric materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Escalas macrométricas, nanométricas e subatômicas.....	19
Figura 2: Relação entre propriedades poliméricas e a massa molar.....	21
Figura 3: Ilustração de estrutura linear dos termoplásticos.....	22
Figura 4: Geometria das nanocargas.....	24
Figura 5: Morfologia das nanocargas.....	25
Figura 6: Estratégia de cenários.....	30
Figura 7: Comportamento de uma variável ao longo do tempo.....	31
Figura 8: Fluxograma da metodologia Delphi.....	35
Figura 9: Especialistas por continente.....	42
Figura 10: Especialistas por categorias.....	42
Figura 11: Especialistas por países.....	44
Figura 12: Experiência dos respondentes.....	46
Figura 13: Nível de conhecimento dos respondentes.....	47
Figura 14: Necessidade de investimento em nanotecnologia.....	48
Figura 15: Áreas de investimento.....	49
Figura 16: Importância de pesquisas na área de nanomateriais poliméricos.....	49
Figura 17: Percentagem dos termoplásticos em relação à utilização.....	50
Figura 18: Percentagem dos termorrígidos em relação à utilização.....	51
Figura 19: Percentagem de blendas em relação à utilização.....	51
Figura 20: Percentagem de compósitos em relação à utilização.....	52
Figura 21: Substituição de materiais convencionais na Agricultura.....	53
Figura 22: Substituição de materiais convencionais na Física.....	53

Figura 23: Substituição de materiais convencionais nas Engenharias.....	54
Figura 24: Substituição de materiais convencionais na Medicina.....	55
Figura 25: Substituição de materiais convencionais na Biologia.....	55
Figura 26: Substituição de materiais convencionais na Química.....	56
Figura 27: Substituição de materiais convencionais na Indústria.....	57
Figura 28: Substituição de materiais convencionais na área Aeroespacial.....	57
Figura 29: Substituição de materiais convencionais em outras áreas.....	58
Figura 30: Diminuição do impacto ambiental na Agricultura.....	59
Figura 31: Diminuição do impacto ambiental na Física.....	59
Figura 32: Diminuição do impacto ambiental nas Engenharias.....	60
Figura 33: Diminuição do impacto ambiental na Medicina.....	61
Figura 34: Diminuição do impacto ambiental na Biologia.....	61
Figura 35: Diminuição do impacto ambiental na Química.....	62
Figura 36: Diminuição do impacto ambiental na Indústria.....	63
Figura 37: Diminuição do impacto ambiental na área Aeroespacial.....	63
Figura 38: Diminuição do impacto ambiental em outras áreas.....	64
Figura 39: Salto tecnológico no desenvolvimento dos novos materiais.....	65
Figura 40: Dificuldades atuais no desenvolvimento da nanotecnologia.....	65
Figura 41: Difusão da nanotecnologia em relação ao tempo.....	66
Figura 42: Permanência das propriedades em temperaturas elevadas.....	67
Figura 43: Resistência ao impacto.....	67
Figura 44: Estabilidade dimensional.....	68
Figura 45: Propriedades físicas.....	68
Figura 46: Outras propriedades.....	69

Figura 47: Aprimoramento da biocompatibilidade.....	70
Figura 48: Aprimoramento em <i>Drug Delivery</i>	71
Figura 49: Aprimoramento em diagnósticos clínicos.....	71
Figura 50: Aprimoramento em biomarcadores.....	72
Figura 51: Aprimoramento em terapias regenerativas autólogas.....	72
Figura 52: Aprimoramento em outras propriedades biológicas.....	73
Figura 53: Obstáculos em relação à matéria-prima.....	74
Figura 54: Obstáculos em relação à patente.....	75
Figura 55: Obstáculos em relação a custos energéticos.....	75
Figura 56: Obstáculos em relação às limitações da capacidade produtiva.....	76
Figura 57: Obstáculos em relação à disponibilidade da matéria-prima.....	77
Figura 58: Obstáculos em relação a outros problemas.....	77
Figura 59: Impactos ambientais.....	78
Figura 60: Impactos econômicos.....	79
Figura 61: Impactos industriais.....	79
Figura 62: Impactos acadêmicos.....	80
Figura 63: Impactos políticos.....	80
Figura 64: Outros impactos.....	81
Figura 65: Relevância dos novos materiais na Agricultura.....	82
Figura 66: Relevância dos novos materiais na Medicina.....	82
Figura 67: Relevância dos novos materiais nas Engenharias.....	83
Figura 68: Relevância dos novos materiais na Química.....	84
Figura 69: Relevância dos novos materiais na Física.....	84
Figura 70: Relevância dos novos materiais na Informática.....	85

Figura 71: Relevância dos novos materiais na Biologia.....	85
Figura 72: Relevância dos novos materiais na área Aeroespacial.....	86
Figura 73: Relevância dos novos materiais em outras áreas.....	87
Figura 74: Necessidade de novos equipamentos.....	88
Figura 75: Relevância de mão de obra qualificada.....	88
Figura 76: Produção em larga escala na Agricultura.....	89
Figura 77: Produção em larga escala na Medicina.....	89
Figura 78: Produção em larga escala nas Engenharias.....	90
Figura 79: Produção em larga escala na Química.....	91
Figura 80: Produção em larga escala na Física.....	91
Figura 81: Produção em larga escala na Informática.....	92
Figura 82: Produção em larga escala na Biologia.....	93
Figura 83: Produção em larga escala na área Aeroespacial.....	93
Figura 84: Produção em larga escala em outras áreas.....	94
Figura 85: Danos à saúde por manuseio inadequado.....	95
Figura 86: Mudança no comportamento da sociedade.....	95
Figura 87: Aceitação da nanotecnologia.....	96

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

3-D – Três dimensões

AFM – Microscópio de força atômica (Atomic Force Microscope)

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUA – Estados Unidos da América

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior

NFM – Microscópio de campo próximo (Near Field Microscope)

nm – nanômetro

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

SPM – Microscópio de varredura por sonda (Scanning Probe Microscope)

STM – Microscópio de varredura por tunelamento (Scanning Tunneling Microscope)

Unicamp – Universidade Estadual de Campinas

USP – Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivo	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. Nanotecnologia	18
2.1.1. Aspectos gerais	18
2.2. Polímeros	20
2.2.1. Termoplásticos	21
2.2.2. Termorrígidos	22
2.2.3. Compósitos	23
2.3. Nanocompósitos Poliméricos	23
2.4. Prospecção Tecnológica	26
2.4.1. Metodologias	27
2.4.1.1. <i>Brainstorming</i>	29
2.4.1.2. <i>Roadmapping</i>	29
2.4.1.3. Cenários	29
2.4.1.4. Curva S	31
2.4.1.5. Árvore de relevância	32
2.4.1.6. Painel de Especialistas	32
2.4.1.7. Delphi	33
2.5. Método Delphi	33
2.5.1. Vantagens	36
2.5.2. Desvantagens	36
2.5.3. Especialistas	37

2.5.4. Formulação do Questionário.....	38
3. METODOLOGIA.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5. CONCLUSÕES.....	97
6. TRABALHOS FUTUROS.....	101
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
8. ANEXOS.....	109
8.1. Anexo A – Submissão das Questões.....	109
8.2. Anexo B – Questionário com dados tabulados.....	119

1. INTRODUÇÃO

Um trabalho de prospecção científica ou tecnológica, requer abertura para novas ideias e novos rumos, em busca de padrões que permitam estruturar caminhos ou metas futuras.

Para esta estruturação existem diversas técnicas prospectivas que levam à compreender tendências futuras, buscando focar e assim direcionar, a pesquisa para as possíveis alterações dos cenários futuros. As prospecções tecnológicas visam acrescentar qualidade às informações atuais, tornando possível o estabelecimento de estratégias para que sejam alcançados objetivos futuros, por mudanças ou não de percursos do conhecimento científico-tecnológico.

O presente trabalho tem por finalidade investigar o direcionamento da nanotecnologia em materiais poliméricos, nas áreas decisivas de P&D, que passaram a ser um tema muito estudado em que se procura a obtenção de novos materiais e melhorias de propriedades e de aplicações novas e mais nobres.

Ao se desenvolver novos materiais com características ainda não obtidas ampliam-se os horizontes da ciência e da tecnologia, proporcionando assim, um aumento dos investimentos em pesquisas e aplicações, seja pela indústria, pela academia e/ou pelos órgãos governamentais.

Como a diversidade dos materiais poliméricos é muito vasta abrangendo, por exemplo, os compósitos, as blendas, os polímeros termorrígidos e os termoplásticos, e como os polímeros podem ser utilizados em diversas áreas, tais como, a Biologia, a Informática, a Química, as Engenharias, a Física e a Medicina, os pesquisadores vêm

dedicando muita atenção à atividades de P&D voltadas para a nanotecnologia aplicada aos materiais poliméricos.

Existem diversas técnicas de prospecção, cada qual desenvolvida para um determinado tipo de estudo e que podem ser classificadas por famílias, tais como: Criatividade, Métodos Descritivos e Diretrizes, Métodos Estatísticos, Opiniões de Especialistas, Monitoramento e Sistemas de Inteligência. A metodologia utilizada nesta pesquisa é a Delphi, que pertence à família de Opiniões de Especialistas.

Este trabalho teve o intuito de identificar cenários probabilísticos, no prazo de vinte a trinta anos, que se referem aos desenvolvimentos e às aplicações da nanotecnologia em materiais poliméricos, utilizando a Metodologia Delphi.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é descrever cenários futuros para intervalo de médio e longo prazo, baseados em probabilidades subjetivas de especialista, do desenvolvimento e das utilizações da nanotecnologia em materiais poliméricos e sua contribuição para o desenvolvimento de novas tecnologias, ou seja, novas aplicações junto à sociedade.

Para realizar este estudo foi utilizada a metodologia Delphi com a contribuição de especialistas da academia, da indústria e do governo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica trará uma breve introdução sobre a nanotecnologia e suas aplicações, introduzirá uma breve explicação sobre polímeros, falará sobre prospecção tecnologia e algumas de suas técnicas e, por fim, introduzirá o método utilizado neste trabalho, o método Delphi.

2.1. Nanotecnologia

Serão apresentados os aspectos gerais da nanotecnologia e suas aplicações nas áreas do conhecimento, desde as ciências exatas até as ciências médicas.

2.1.1. Aspectos gerais

Na literatura encontram-se várias conceituações sobre a nanociência e dentre as considerações a de que a nanociência é o estudo de materiais em nanoescala – 0,1 a 100 nm – entendendo-se que estes podem mostrar alterações em suas propriedades e/ou novos comportamentos comparados aos materiais convencionais (DURÁN, et al, 2006). Desta maneira, pode-se dizer que a nanotecnologia diz respeito à habilidade e manipulação controlada da matéria em nanoescala (SCHULZ, 2009).

Ao analisar a Figura 1, pode-se observar uma comparação de escalas, desde escalas macrométricas a subatômicas, representando também a área de domínio da nanotecnologia.

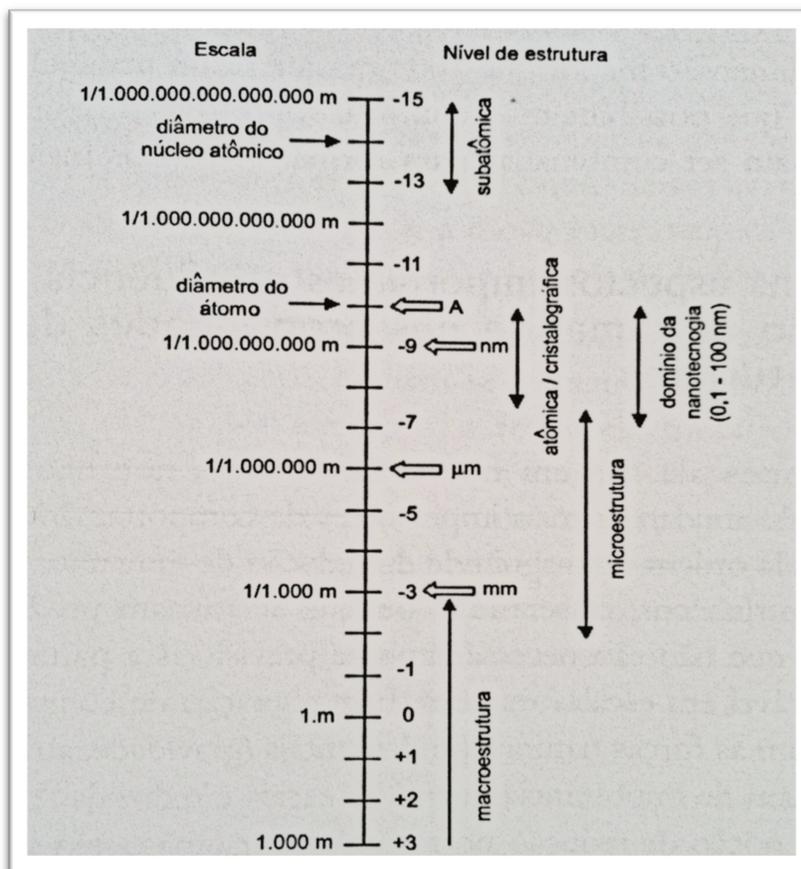


Figura 1: Escalas macrométricas, nanométricas e subatômicas (Fonte: DURÁN et al. 2006).

A nanotecnologia ganhou certa consistência em 1959 com Richard Feynman, que afirmou existir a possibilidade de manipulação individual dos átomos (FEYNMAN, 1960), mas somente em 1974, o pesquisador Norio Taniguchi, diferenciou o estudo em escala micrométrica e o novo campo de estudo: escala submicrométrica, sendo a do âmbito da nanotecnologia (TANIGUCHI, 1983).

Porém, somente na década dos anos 80 esta tecnologia começou a ter relevância, pois surgiram equipamentos capazes de fazer a manipulação em escala

nanométrica, tais como: microscópio de varredura por sonda (SPM), de varredura por tunelamento (STM), de campo próximo (NFM) e de força atômica (AFM). A partir de então, a nanociência ganhou forças e, em 1986, Richard Smalley descobre uma nova forma de blocos de construção, os fulerenos *Buckminster* ou *buckyballs*, levando Sumio Iijima a descobrir em 1991 os nanotubos de carbono. Em 1996, Smalley desenvolve um método de produção de nanotubos com tamanhos uniformes. Desde então a síntese, a caracterização e a manipulação de nanomateriais vem aumentando exponencialmente (DURÁN, 2006).

Com a utilização de diversificados materiais, a nanotecnologia se mostra uma área de pesquisa e desenvolvimento interdisciplinar, atraindo cada vez mais uma gama maior de pesquisadores, tanto na academia quanto na indústria, gerando um novo mercado, com novos produtos e novos equipamentos.

2.2. Polímeros

Um polímero pode ser definido como um material formado por macromoléculas, milhares de moléculas (poli) contendo pequenas repetições (meros), com ligações covalentes. Falar de materiais poliméricos, significa ter em mente que são materiais de alto peso molecular, chegando a dezenas de centenas de milhões de moléculas (CANEVAROLO JUNIOR, 2006) (ODIAN, 2004).

As unidades repetitivas dos polímeros são hidrocarbonetos, tais como álcoois, aldeídos, cetonas, aminas, amidas, ésteres, éteres, ácidos carboxílicos, fenóis (ATKINS e JONES, 2006).

Os pesos moleculares dos polímeros são extremamente elevados e assim, suas propriedades aumentam com elevação da massa molecular desses materiais. Desta

forma, esse material composto por várias unidades repetitivas começa a ser chamado de polímero, quando seu peso molecular ultrapassar o valor de 10.000.

A Figura 2 apresenta a relação entre a propriedade do polímero e a massa molar. A partir de uma massa molar considerável o polímero é formado e suas propriedades aumentam com o aumento da massa molar até se estabilizar.

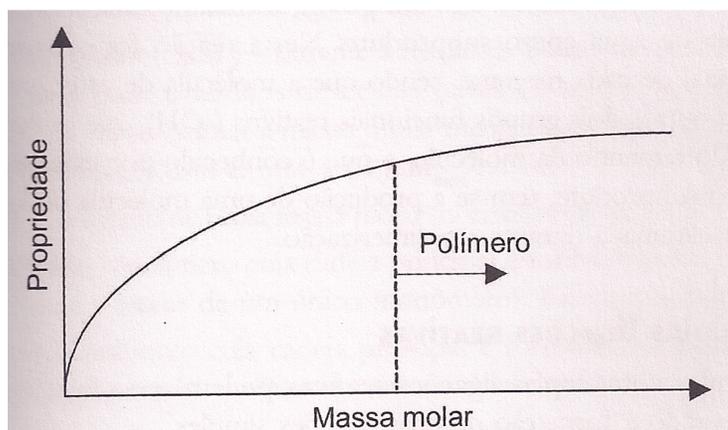


Figura 2: Relação entre propriedades poliméricas e a massa molar (Fonte: CANEVAROLO JUNIOR, 2006).

Utilizando o critério de fusibilidade e/ou solubilidade, os polímeros foram divididos em duas classes: termoplásticos e termorrígidos. Além disso, serão considerados aqui também os compósitos e os nanocompósitos poliméricos.

2.2.1. Termoplásticos

Os termoplásticos são polímeros semicristalinos, ou seja, caracterizam-se por determinadas temperaturas de cristalização e de fusão, assim como temperatura de transição vítrea, que faz com que a cadeia polimérica ganhe mobilidade estrutural sem modificar sua composição física. Possuem uma estrutura essencialmente linear, ou

com poucas ramificações, apresentando também um grau de deformação de até 200 vezes. Quando sujeitos ao aumento da pressão e temperatura os termoplástico amolecem e fluem podendo ser moldados diversas vezes. Por esta razão se torna possível sua reciclagem. Os materiais termoplásticos são considerados materiais de manipulação relativamente fácil. Na Figura 3 mostra-se um desenho esquemático da linearidade dos termoplásticos.

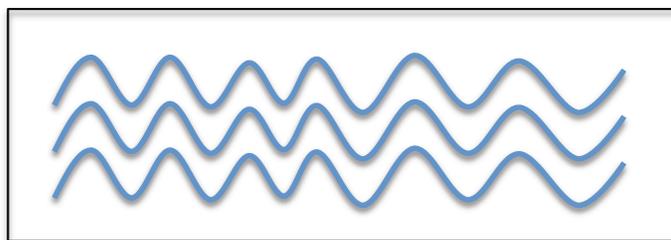


Figura 3: Ilustração de estrutura linear dos termoplásticos.

2.2.2. Termorrígidos

Os termorrígidos são polímeros amorfos, não possuindo ponto de fusão nem de cristalização e, assim, após terem sido moldados, se aquecidos novamente irão se decompor, mudando suas estruturas químicas. Possuem estruturas ramificadas e cruzadas, tornando suas capacidades de deformação muito menores. Por possuírem ligações cruzadas e ramificações, sua manipulação é mais restrita, podendo ser moldado apenas uma vez e não podendo ser reciclados, exatamente por não possuírem temperaturas de fusão.

Os elastômeros ou borrachas são polímeros capazes de se deformarem até 5000 vezes o seu tamanho e de retornarem a sua forma original. Isso ocorre pois

possuem algumas ligações cruzadas (*cross linked*). Também possuem propriedades viscoelásticas.

2.2.3. Compósitos

Compósitos podem ser definidos como materiais heterogêneos, multifásicos, podendo ser ou não poliméricos, em que um dos componentes é descontínuo e dá a principal resistência ao esforço, enquanto o outro componente é contínuo representando o meio de transferência deste esforço, ou seja, um componente é estrutural e o outro é a matriz (MANO e MENDES, 1999).

2.3. Nanocompósitos Poliméricos

A busca constante na melhoria das propriedades de materiais poliméricos abriu um amplo campo de atividades de pesquisa. Entre eles pode-se destacar os compósitos, em que se adiciona uma carga em uma matriz polimérica, para obter um material com características diferenciadas. Porém, este reforço adicionado requer alta concentração, girando em torno de 20 a 35%, elevando desta forma o peso dos materiais o que pode gerar algum tipo de problema. Haja vista que algumas áreas em que são utilizados requerem pesos menores, como por exemplo a indústria de embalagens, aplicações militares e aeroespaciais (FREITAS, 2010).

Os nanocompósitos surgem para substituir materiais convencionais desenvolvendo-se materiais mais leves e com propriedades melhores. Como a quantidade das cargas nos nanocompósitos se reduz de forma considerável e como possuem tamanhos menores, a dispersão destas cargas apresenta melhor distribuição, e características iguais ou melhores que nos compósitos convencionais.

A utilização dos nanocompósitos poliméricos aumenta à medida que as atividades de P&D se desenvolvem na direção da adição de reforços nanométricos. Deste modo se aperfeiçoam as propriedades mecânicas, tais como propriedades de barreira, a resistência à chama, as propriedades eletro-ópticas e as propriedades bactericidas. Os reforços nanométricos utilizados podem ser: argila esfoliada, nanotubos de carbono, nanofibras de carbono, grafite esfoliado, metais nanocristalinos e uma série de enchimento inorgânicos adicional em nanoescala ou modificações de fibras (PAUL e ROBESON, 2008). Estas nanocargas possuem diferentes formas e tamanhos, podendo ser fibrosas. Possuem também duas dimensões em nanômetros (espessura e largura) e razão de aspecto menor que 100 nm. Lamelares possuem apenas uma espessura de aproximadamente 1 nm, enquanto as esferas são tridimensionais, com diâmetro de até 100 nm (AJAYAN et al, 2003). A Figura 4 ilustra a geometria das nanocargas fibrosas, lamelares e as esferas.

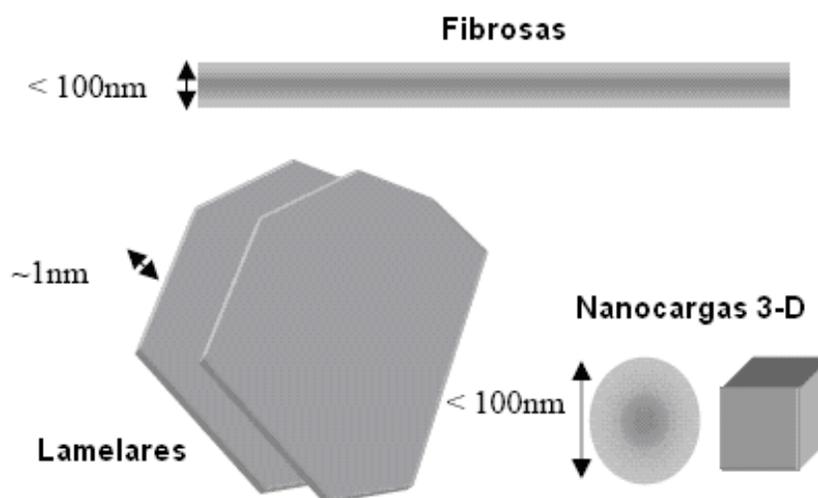


Figura 4: Geometria das nanocargas (Fonte: AJAYAN et al, 2003).

A morfologia de dispersão destas cargas pode ser dividida em três tipos

principais (principalmente as nanocargas lamelares). *Microcompósito*: ocorre quando não há compatibilidade entre a matriz e a nanocarga formando aglomerados da carga, possuindo propriedades parecidas com as dos materiais compósitos tradicionais. *Intercalada*: as cadeias poliméricas penetram entre as nanopartículas sem separá-las, tendo uma estrutura bem ordenada e *esfoliada (delaminada)*, no caso de lamelas, as nanopartículas ficam bem separadas tornando impossível uma interação entre elas, ficando estas em estado desordenado, com maior área superficial entrando em contato com toda a matriz, sendo esta morfologia desejada em nanocompósitos (FERREIRA, 2008). Pode-se observar as morfologias pela Figura 5:

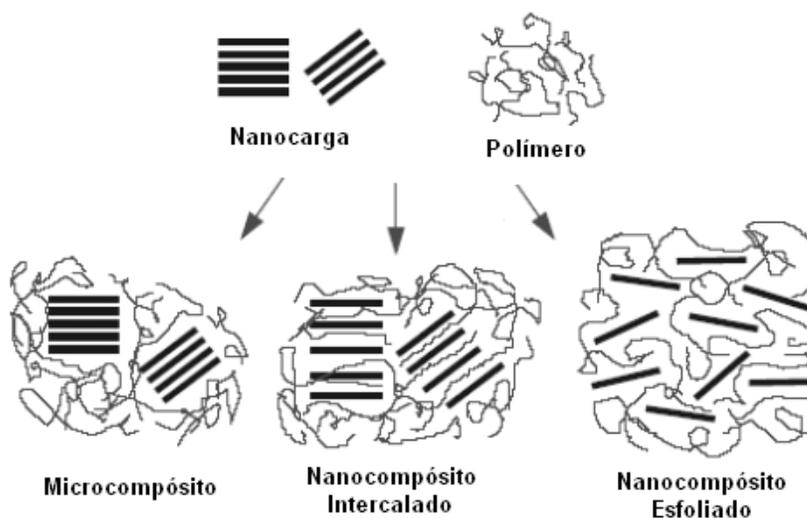


Figura 5: Morfologia das nanocargas (Fonte: FERREIRA, 2008).

2.4. Prospecção Tecnológica

Dentre as diferentes definições de prospecção tecnológica encontradas na literatura, cita-se aquela em que a prospecção tecnológica é entendida como a

avaliação probabilística de transferência de tecnologia do futuro (JANTSCH, 1967). E ainda, há quem entende que a prospecção é um processo que envolve intensos períodos de reflexões, discussões e aprendizados para obter visões do futuro e estratégias para possíveis acontecimentos (GEORGHIOU, L. *et al*, 2008).

Segundo Gonçalves (2007), não podemos prever o futuro, mas sim determinar o caminho a seguir no presente, para poder construir o futuro, analisando sistematicamente o passado e o presente e, extrapolando as modificações que já ocorreram. Pode-se dizer que a prospecção tecnológica busca antecipar as possíveis tecnologias disponíveis para uso no futuro, em cada área do conhecimento a ser determinada (DREJER e RIIS, 1999).

Um dos grandes desafios da humanidade sempre foi antecipar o futuro, saber o que acontecerá daqui a cinco minutos ou daqui a cinquenta anos. Com o avanço da indústria e o aumento exponencial da concorrência, a prospecção tecnológica se torna ainda mais importante. Para saber, por exemplo, se um determinado produto será adequado para certa população ou se sua aceitação no mercado será boa, tornou-se necessário, como se dará a melhor concorrência industrial. Com isso desenvolveram-se técnicas para que fosse possível supor um provável acontecimento em um determinado tempo (DIAS, UFSC).

Segundo Makridakis (et al, 1998), a principal finalidade da prospecção é a existência de tempo suficiente para adotar novas medidas a fim de reagir a eventos futuros.

Portanto, saber o que vem a seguir é muito importante, não apenas para administradores como para os pesquisadores, em todos os ramos da ciência e da

tecnologia, permitindo que se atinja a causa e não a consequência do acontecimento futuro (MOON, et al, 2003).

2.4.1. Metodologias

A escolha do tipo da técnica a ser utilizada na prospecção depende de diversos fatores, tais como: a importância da sua finalidade, quais as características dos dados disponíveis para esta previsão, quais os custos envolvidos, entre outros fatores (HANKE et al, 2001).

Segundo Porter et al (2004), é possível classificar os métodos de prospecção em famílias. A seguir citam-se as famílias e alguns métodos.

A. CRIATIVIDADE

- a. *Brainstorming*
- b. *Creativity Workshop*
- c. *Science Fiction Analysis*
- d. *Vision Generation*

B. MÉTODOS DESCRITIVOS E MATRIZES

- a. *Analogies*
- b. *Checklists for impact identification*
- c. *Roadmapping*
- d. *Morphological Analysis*

C. MÉTODOS ESTATÍSTICOS

- a. *Risk Analysis*
- b. *Correlation Analysis*

D. MONITORAMENTO E SISTEMAS DE INTELIGÊNCIA

- a. *Bibliometrics*
- b. *Monitoring*

E. MODELAGEM E SIMULAÇÃO

- a. *Scenario-simulation*
- b. *Systems simulation*
- c. *Economic Base Modeling*

F. CENÁRIOS

- a. *Scenarios*
- b. *Scenarios-simulation*

G. ANÁLISES DE TENDÊNCIAS

- a. *Trend Extrapolation*
- b. *Precursor Analysis*
- c. *Trend Impact Analysis*

H. SISTEMAS DE AVALIAÇÃO E DECISÃO

- a. *Relevance Trees*
- b. *Decision Analysis*
- c. *Cost-Benefit Analysis*

I. OPINIÃO DE ESPECIALISTAS

- a. *Delphi*
- b. *Panels*
- c. *Participatory Techniques*

Descrevem-se a seguir, algumas das técnicas de prospecção mais conhecidas e mais utilizadas:

2.4.1.1. *Brainstorming*

Esta é uma das primeiras técnicas de prospecção desenvolvida. Reúne-se um grupo de pessoas, gerando ideias, com a intenção de encontrar a maior quantidade de soluções para um determinado problema. Fica proibido qualquer tipo de críticas durante a realização deste método.

2.4.1.2. *Roadmapping*

O *Roadmapping* é um processo de planejamento orientado pela demanda, que ajuda a identificar, selecionar e desenvolver tecnologias alternativas para satisfazer a um conjunto de necessidades. Os mapas resultantes devem conter as necessidades, requisitos críticos e metas, áreas tecnológicas, condicionantes tecnológicos e metas, alternativas tecnológicas, alternativas recomendadas e um relatório de *RoadMapping* (SANTOS, et al. 2004).

2.4.1.3. *Cenários*

Método útil para entender eventos que parecem conter um misto de informações não relacionadas, a partir da organização de possibilidades de informação e visões alternativas do futuro. É um método qualitativo e não quantitativo, visto que proporciona possibilidades futuras sendo constituído por sequencias lógicas de eventos e apropriado para identificar implicações de incertezas (GAVIGAN e SCAPOLO, 1999).

Ao se estudar um evento futuro, sabe-se que este para ser atingido, possui diversos caminhos a serem trilhados. Um cenário é a descrição de um evento futuro em potencial e sua progressão em direção a ele. O termo “cenários” se aplica a uma abordagem que inclui uma série de medidas específicas que se inter-relacionam, por exemplo, uma mudança quase imperceptível no momento, mas que causará grandes consequências no futuro.

Este é um método que busca desenvolver todos os cenários possíveis e explorar os caminhos que levam a eles, a fim de esclarecer ações presentes e suas possíveis consequências. Os principais objetivos deste método são: detectar as questões principais para o estudo; determinar os principais atores, suas estratégias e meios para que as questões obtenham uma conclusão bem sucedida. (GODET, 1994).

Segundo *Godet* (1994), o Método de Cenário pode ser representado através da Figura 6:

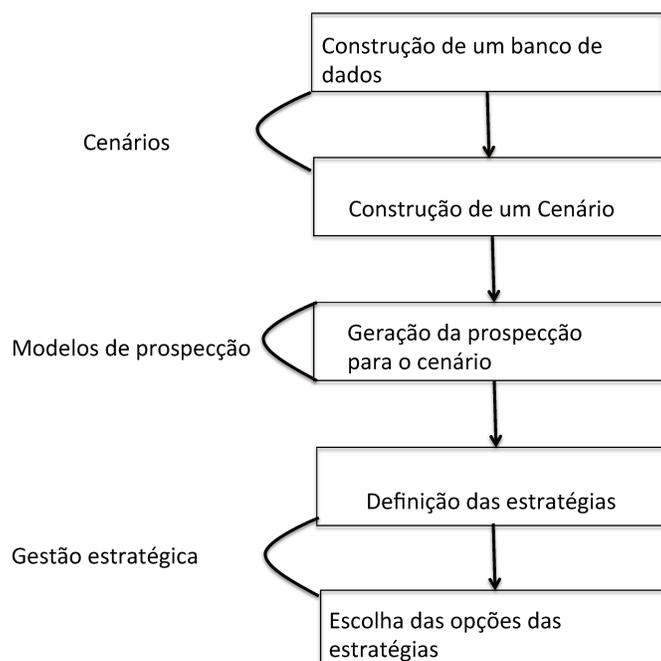


Figura 6: Estratégia de cenários (Fonte: GODET, 1994).

2.4.1.4. Curvas S

Esta metodologia pode ser descrita como a evolução da tecnologia ou do conhecimento científico-tecnológico ao longo do tempo. Pode ser dividida em quatro fases. A primeira delas em que a evolução inicial é vagarosa, sendo fundamento um esforço expressivo para gerar um resultado modesto. A segunda fase é representada por um salto na evolução para um curto espaço de tempo e usa um esforço menor. A terceira fase é caracterizada por uma saturação da evolução e acompanhada por queda ao longo do tempo. Na quarta fase pode ocorrer um “salto” para uma nova curva ou uma “falência” do sistema, como pode ser observado na Figura 7 (FIATES, 2005).

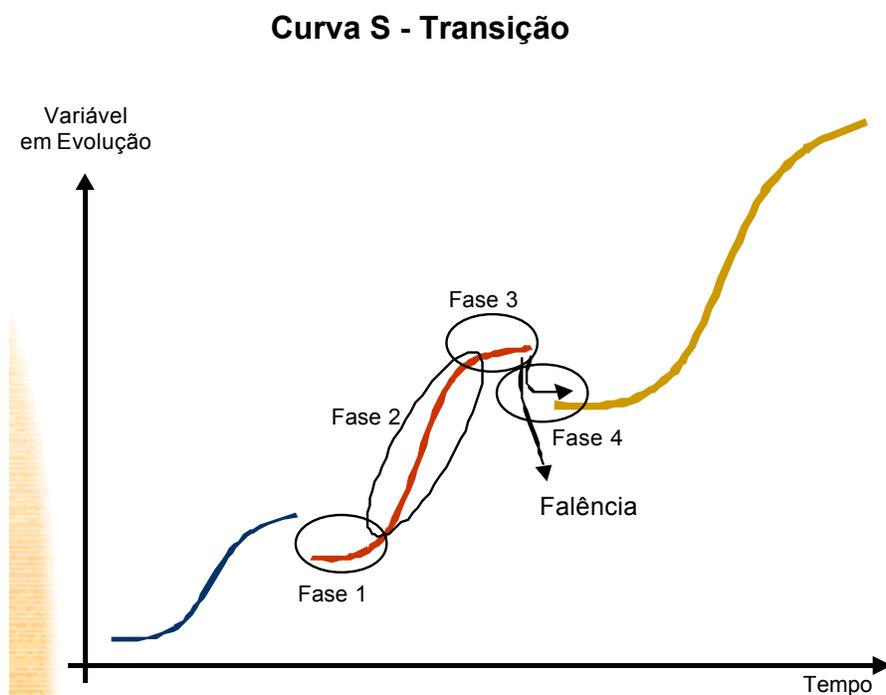


Figura 7: Comportamento de uma variável ao longo do tempo. Fonte: FIATES, 2005.

2.4.1.5. Árvore de relevância

Esta técnica subdivide um tema amplo em subtemas cada vez mais específicos, sendo representada por um diagrama em forma de árvore. Resulta num mapeamento de um problema ou dos diversos aspectos críticos do sistema em estudo, ou em possíveis soluções para um problema. Baseia-se nos métodos de análise de sistemas. As árvores de relevância são utilizadas para analisar situações em que se podem identificar diferentes níveis de complexidade ou hierarquia. Esta metodologia é de uso complexo, requerendo uma análise por pessoas conhecedoras das técnicas, com base na perícia do problema real (RIBEIRO, 2009).

2.4.1.6. Painel de Especialistas

Os painéis são mais utilizados para novas tecnologias ou novas áreas de aplicação. A principal tarefa de um painel compreende, em sua maioria, a síntese de cenários sobre áreas de interesse incorporados no processo de prospecção. Pode ser depoimentos escritos ou verbais e/ou relatórios de pesquisa. Neste método, reúnem-se informações e conhecimentos relevantes, havendo assim um estímulo para formação de novas ideias e para revitalização das já existentes, podendo ainda provocar o desenvolvimento de estratégias para o futuro (MILES et al., 2002).

Desenvolvimento desta metodologia faz necessária a presença de um mediador para apoio administrativo, por exemplo: para elaboração de horários, desenvolvimento de relatórios, processamento de dados, preparação de materiais para a apresentação, entre outros e, para que não se criem dificuldades para a síntese e para combinação de cenários, causando problemas para chegar a um acordo sobre prioridades comuns. Para a escolha dos participantes também se necessita de um certo cuidado, para não

se criar uma “tabela de desejos” utópicos. É preciso que a equipe apresente mente astuta e criativa, constituída por: profissionais do ramo, pesquisadores e políticos, havendo também uma interação eficaz do grupo, para que ideias e propostas sejam obtidas (MILES et al., 2002).

2.4.1.7. Delphi

Este método baseia-se em consultar especialistas para saber suas opiniões sobre o assunto em questão. É importante salientar que os peritos consultados não interagem entre si, não ocorrendo intimidação ou influência entre os participantes. Desta maneira, os indivíduos são convidados a responderem a um questionário e, então poderão receber novamente o questionário com os dados tratados, podendo preenchê-lo novamente caso modifiquem sua forma de pensar sobre o tema em estudo. Os que divergem da maioria têm a oportunidade de se explicarem expondo os porquês das suas opiniões divergentes.

Esta técnica busca expor as opiniões dos especialistas sobre incertezas de determinados assuntos justificando decisões futuras. Esta técnica será explicada mais detalhadamente por ser a técnica escolhida neste trabalho para realizar uma avaliação a longo prazo.

2.5. Método Delphi

O método Delphi foi desenvolvido na década de 50 nos Estados Unidos, por pesquisadores da empresa *Rand Corporation*, financiado pela Força Aérea dos EUA durante a guerra fria, para obter um consenso de opiniões de especialistas militares sobre os efeitos de um grande ataque nuclear (GORDON, 1964).

A técnica é mais conhecida como o processo para se obter consenso mais confiável de opiniões, de um grupo de especialistas, por uma série de questionários intercalados com os dados já fornecidos, contando assim com o julgamento humano, ou seja, um julgamento subjetivo (ROWE e WRIGHT, 1999). Atualmente têm se dispensado a obtenção do consenso como fator obrigatório para a caracterização do método, pois a metodologia Delphi agora é considerada uma ferramenta para coleção de opiniões de especialista de forma confiável (LANDETA, 2006).

O método Delphi é recomendado quando os dados quantitativos são inexistentes, ou quando estes não podem ser projetados para o futuro com segurança (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000).

As principais aplicações históricas são na área governamental em que se discutem problemas de planejamento, seja ele de âmbito nacional, regional ou local. Nas áreas acadêmica e industriais com prospecções mercadológicas é também utilizada a Delphi para o desenvolvimento de novas ideias (CARVALHO, 2010).

A metodologia Delphi é trabalhosa e demorada, apresentando altas taxas de desistência dos participantes, e inclui a tarefa nem sempre eficaz de convencê-los a preencher questionários sucessivos. Além destas dificuldades, existe a necessidade de se elaborar um questionário que não cause dúvidas aos respondentes (GEORGHIOUS, et al, 2008).

Segundo Cardoso et al. (2005), para se assegurar a autenticidade do método é necessário haver três condições:

- A. Deve ser assegurado o anonimato dos respondentes, para evitar influencia prévia de uns sobre os outros e eventuais constrangimentos;

B. *Feedback* das respostas, para que com a análise das respostas, os especialistas possam reavaliar e aprofundar suas visões;

C. Tratamento estatístico das resposta.

A Figura 8 vem mostrar um fluxograma do Delphi, iniciando pela identificação do assunto a ser tratado, definindo o tema. Logo após são procurados e selecionados os respondentes. Prepara-se o questionário e ele é enviado. Quando as respostas retornam é feita uma análise das respostas. Caso haja uma estabilidade nas respostas prepara-se o relatório final, se não, é necessário um *feedback* enviando os dados tratados para os participantes, novamente, para que analisem as respostas e reflitam se precisam ou não modificá-las. E assim sucessivamente, até que não modifiquem mais suas respostas e haja a estabilidade esperada.

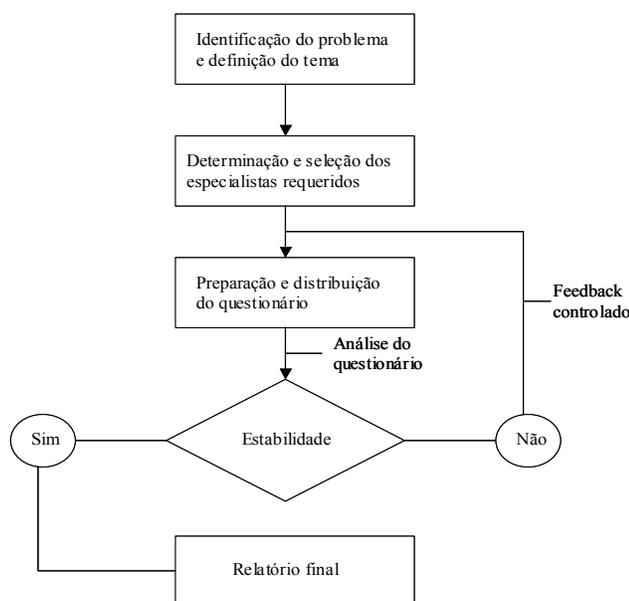


Figura 8: Fluxograma da metodologia Delphi (Fonte: SANT'ANA, 2005).

Pode-se destacar importantes organizações e empresas brasileiras que já utilizaram o método Delphi, tais como a Marinha, a Petrobrás, o Banco do Brasil, além do Programa Brasileiro de Prospectiva Tecnológica Industrial, coordenado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). Entre as instituições que o utilizam estão a Escola Politécnica da USP, a Unicamp, a Universidade Federal de São Carlos, a Universidade Federal do Rio de Janeiro, a EMBRAPA, a Faculdade de Economia e Administração da USP e a Escola Politécnica da USP (CARDOSO et al., 2005).

2.5.1. Vantagens

Esta técnica é popularmente conhecida por possuir muitos pontos fortes tais como: ser usada em planejamento e prospecção e como ferramenta para tomadas de decisões. Possui uma vasta gama de variáveis inter-relacionadas e características multidimensionais comuns para problemas complexos, sendo que ambos são elementos necessários para realização de uma análise científica-tecnológica detalhada. Nela documentam-se fatos e opiniões dos especialistas, evitando-se o contato “face a face”, para que não haja influencia, conflitos e domínio de apenas uma opinião. É muito útil em cenários escassos de dados históricos e permite a consulta de um grande número de especialistas a baixos custos (GUPTA e CLARKE, 1996)(WRIGTH e GIOVINAZZO, 2000).

2.5.2. Desvantagens

Segundo Wright e Giovinazzo (2000), a metodologia tem como desvantagens a demora excessiva para a realização do processo completo, a dificuldade de redigir um

questionário sem ambiguidades, a excessiva dependência dos resultados em relação à escolha dos especialistas, o tratamento dos resultados e a seleção de amostra significativa dos respondentes que seja estatisticamente aceitável. Ainda há o problema de identificação dos especialistas e o cuidado para que os resultados não sejam tendenciosos (ROWE e WRIGHT, 1999).

2.5.3. Especialistas

Ao se selecionar os participantes é necessário identificar os especialistas para que os resultados não sejam distorcidos. Assim, se torna importante a diversidade na composição do grupo de participantes, pois diferenças culturais podem levar a diferentes interpretações (RIBEIRO, 2009).

O anonimato é essencial nesta metodologia pois evita constrangimentos e/ou privilégios aos respondentes, podendo estes responderem honestamente, sem se preocupar com o outro, além de no *feedback* o participante após analisar as respostas, poder mudar sua opinião com maior liberdade. O anonimato é, por tanto, uma das principais características da metodologia (PEREZ, SCHÜLER, 1982).

É igualmente necessário a diversidade dos setores de atuação dos especialistas tais como academia, empresas sejam privadas ou governamentais, para que sejam analisados pontos de vistas diferenciados, dando credibilidade maior ao estudo (OKOLI e PAWLOWSKI, 2004)(SANT'ANA, 2005).

Algumas características importantes dos respondentes são o grau de conhecimento na área de pesquisa e, a imaginação, pois se trata de cenários futuros, deste modo a qualidade das respostas dependerá diretamente do domínio sobre o assunto que o respondente tem (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000).

A abstenção que ocorre neste tipo de pesquisa é consideravelmente altos, em torno de 50% na primeira rodada e de 20% a 30% na segunda rodada e, segundo Landeta (2006), as principais são devidas a três principais motivos:

1. Não conhecimento do método pelo respondente;
2. Cansaço dos especialistas, caso haja um número de rodadas do questionário elevado;
3. Desmotivação do participante por não haver interação com os demais, tendo ele apenas o benefício da informação relativa aos dados estatísticos.

2.5.4. Formulação do questionário

A elaboração do questionário é de grande importância, visto que este será o meio de comunicação com os respondentes, devendo permitir que suas opiniões sejam sinceras sobre o assunto em estudo.

Primeiramente, deve-se traçar o objetivo da pesquisa a ser realizada, servindo como apresentação desse trabalho aos respondentes, para que compreendam a sua finalidade. Após a definição do objetivo, é importante definir a quantidade de questões a serem colocadas. O cuidado quanto a isso é importante, pois caso o questionário seja muito extenso se tornará maçante e desestimulará os respondentes. Por outro lado, não pode ser curto demais, a ponto de não explorar o tema em sua amplitude. Deve-se atentar também, para o fato de haver necessidade de permissão para comentários.

Definido o tamanho do questionário, inicia-se a sua elaboração. É essencial tomar-se cuidado com ambiguidades. As questões devem ser rápidas e simples de se responder, não incorrer em contradições e limitar a quantidade de alternativas. Estes cuidados podem tornar o questionário mais eficiente (CARVALHO, 2010).

É importante ressaltar que, a cada rodada do questionário, podem ser realizadas pequenas alterações para facilitar ou esclarecer pontos antes não entendidos integrando o *feedback* enviado aos especialistas, a cada rodada, para que tenham conhecimento das opiniões dos restantes, podendo compará-las com as suas.

3. METODOLOGIA

Para realizar este trabalho, utilizou-se, como já citado, a metodologia de prospecção tecnológica chamada *Delphi*. A escolha dos especialistas em nanotecnologia de materiais poliméricos, em âmbito internacional, foi efetuada por meio de análise de currículos, artigos científicos, ou indústrias dos ramos nanotecnológicos e materiais poliméricos e áreas governamentais, mas não se restringindo necessariamente a este assunto específico. Conteúdos em banco de dados fornecidos mediante a acessos a endereços eletrônicos ou a nomes dos participantes. Levou-se em conta:

- A. Plataforma Lattes com as palavras chaves: nanotecnologia, materiais poliméricos. Este banco de dados foi organizado por meio do *site*: <http://lattes.cnpq.br> (137 especialistas)

- B. Artigos Científicos, sendo estes pesquisados no *site*: <http://www.sciencedirect.com> (462 especialistas)

- C. Indústrias, por *sites* de associações industriais. (59 especialistas)

- D. Áreas governamentais, pesquisados nos *sites* governamentais. (19 especialistas)

Após a formação do banco de dados, foi elaborado o questionário encontrado no Anexo A. O total de especialistas selecionados foi de 677, e a comunicação foi feita por

meio de correio eletrônico. Na primeira rodada foram recebidos 80 questionários respondidos, correspondentes a 11,82% de retorno.

A pesquisa Delphi foi realizada eletronicamente, utilizando o programa QUESTIONPRO (www.questionpro.com). A primeira rodada foi realizada no período de 17 de agosto de 2011 a 17 de outubro de 2011. Por ser uma pesquisa de âmbito internacional o questionário foi desenvolvido em Inglês.

Este programa foi utilizado para a criação e distribuição dos questionários. Possui ferramentas de distribuição do questionário pro e-mail, conta ainda com ferramentas de análise e visualização dos resultados que ficam disponíveis em tempo real. Pode-se exportar os dados para o MS Excel, onde são incluídos os dados existentes no banco de dados da pesquisa. O *Questionpro* também armazena informações e para questões dissertativas e para comentários de forma que o respondente pôde justificar suas respostas, quando necessário.

A segunda rodada foi realizada num período de quinze dias entre os dias 06 a 21 de março de 2012. Sabe-se que os 80 participantes receberam o questionário novamente, mas apenas 3 deles modificaram suas respostas. Por não haver grandes alterações na pesquisa, não foi necessário a realização de uma terceira rodada.

Os especialistas foram divididos por continentes, para que as respostas levem em consideração as diferenças culturais como pode ser visto na Figura 9.

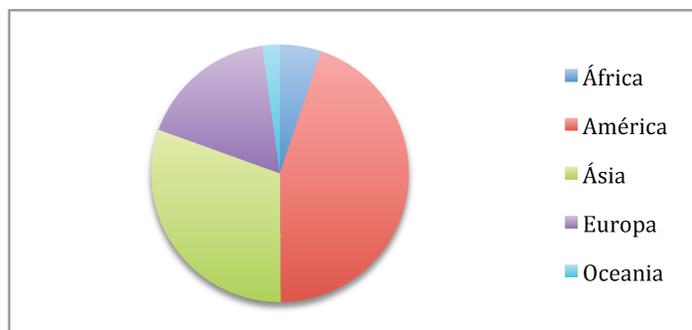


Figura 9: Especialistas por continente.

Em seguida foram considerados novamente os especialistas de acordo com as categorias: Acadêmicos, Industriais e Governamentais como apresentados na Figura 10.

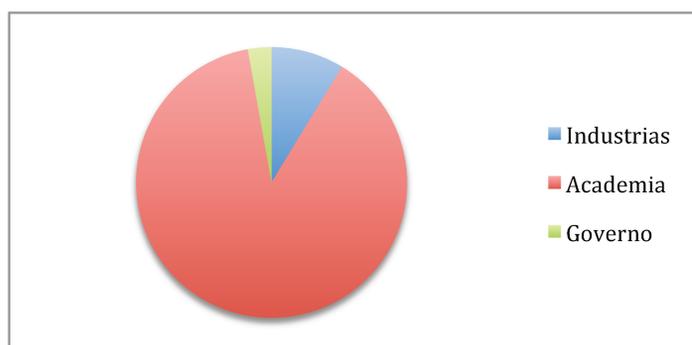


Figura 10: Especialistas por categorias.

Segundo Wright e Giovinazzo (2000), pode-se esperar uma abstenção de até 65%, quando há contato pessoal entre os administradores da pesquisa e os especialistas ou quando há algum relacionamento entre estes. O trabalho aqui desenvolvido não foi realizado por contato pessoal e mais de 95% dos respondentes não possui nenhum relacionamento com os organizadores. Assim, foi considerada coerente coma as expectativas a quantidade de respostas recebidas, e adequadas

para apresentar conclusões. Saliente-se que conforme Graham et al. (2003) já ocorreram estudos Delphi com número menor de respondentes e com resultados conclusivos.

Portanto, embora a quantidade de respondentes não represente um grande retorno, é de se notar que houve uma alta diversidade de países, como pode ser observado na Figura 11, a seguir:

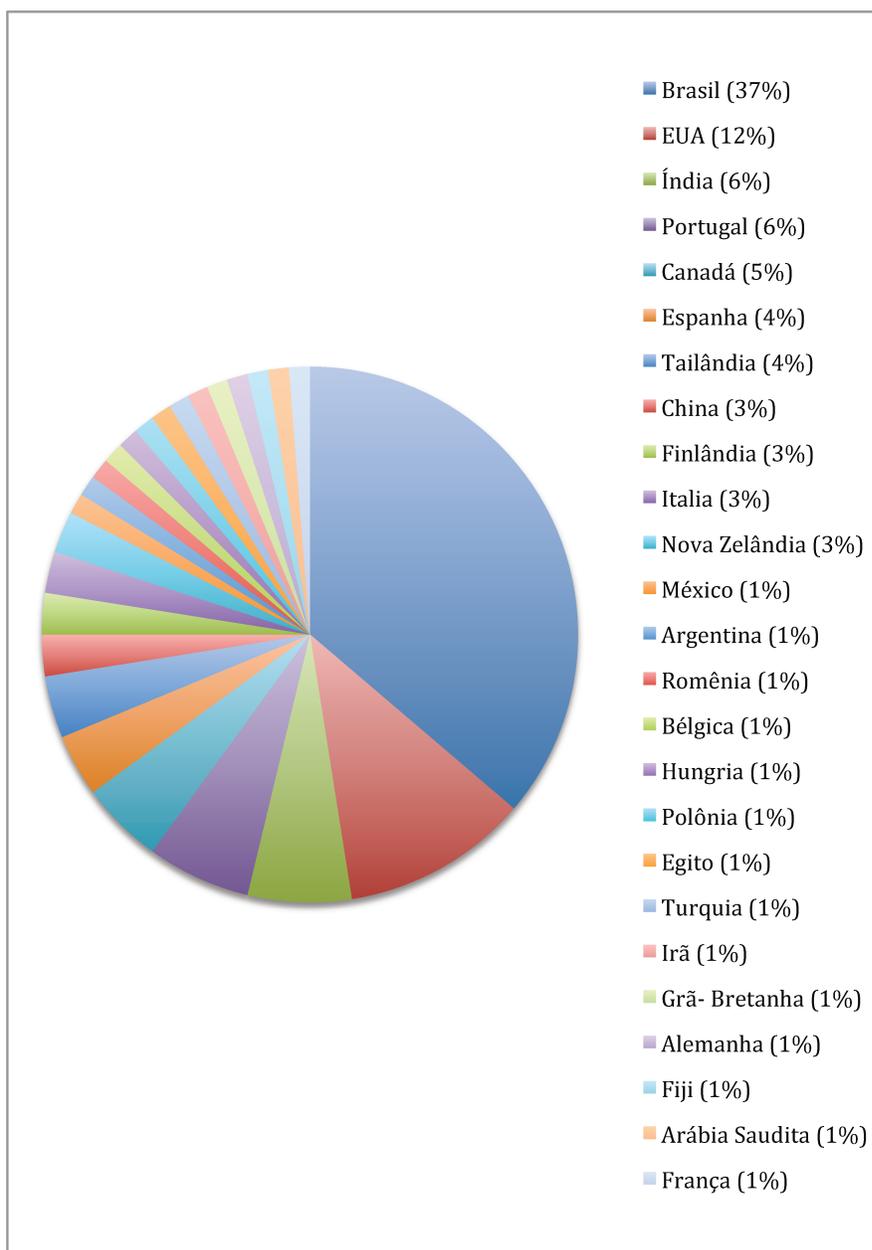


Figura 11: Especialistas por países.

As respostas foram tabuladas e foi realizado um tratamento estatístico nos resultados obtidos na primeira rodada. Posteriormente, foi elaborado um arquivo com os dados tratados e enviado para todos os respondentes do questionário, solicitando-

se que, se houvesse alguma modificação nas suas respostas, reenviassem o questionário corrigido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados, a seguir, os dados tratados estatisticamente e a análise dos resultados.

Na primeira questão foi solicitada a descrição da experiência do respondente, sendo 92% dos respondentes da área de pesquisa acadêmica; 6% de Desenvolvimento e Pesquisa Industrial; 1% de Estratégia para pesquisa e tecnologia e 1% da Produção / Operação, como pode ser observado na Figura 12:

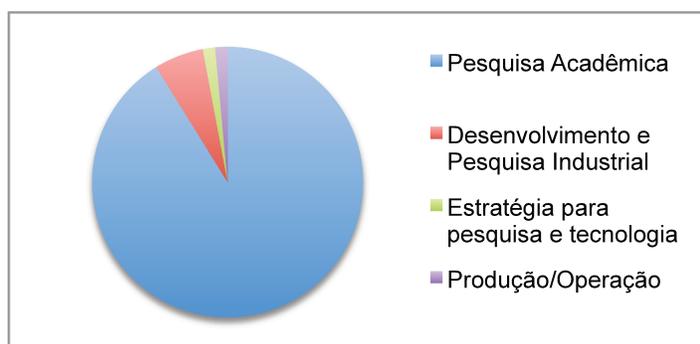


Figura 12: Experiência dos respondentes.

Pode-se concluir que esta pesquisa obteve a maioria das respostas referente à academia, seguido pelo desenvolvimento e pesquisa industrial, e muito pouco de estratégia para pesquisa e tecnologia e produção/operação. Desta forma pode-se dizer que as respostas foram tendenciosas para a área acadêmica, porém deve-se destacar que os resultados serão de grande importância para a indústria também, sendo que a evolução tecnológica acontece essencialmente pela necessidade da indústria e adequar-se à sociedade atual.

A questão dois exigiu a informação sobre o nível de conhecimento em nanotecnologia em materiais poliméricos. Ao analisar a Figura 13, sabe-se que 32% consideram-se especialistas, 56% conhecedores, 12% não familiarizados com o assunto. Levando-se em consideração portanto, que 88% estão mais que familiarizados sobre o assunto, obteve-se um resultado mais efetivo, já que se sabe que para obter resultados aceitáveis é importante que os respondentes não tenham apenas uma opinião formada sobre o assunto em questão, mas sejam conhecedores importantes em pesquisas sobre um assunto específico.

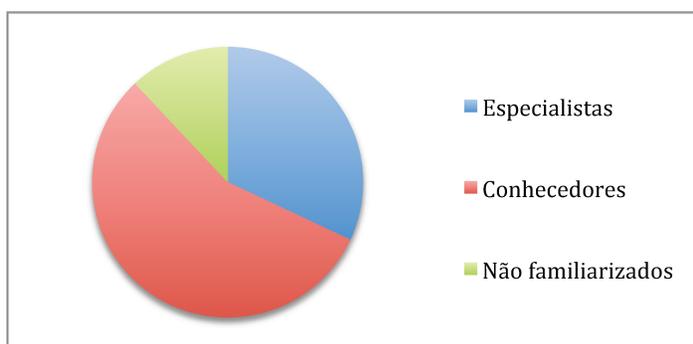


Figura 13: Nível de conhecimento dos respondentes.

Finalmente, ficou evidente que é de extrema importância a necessidade de maiores investimentos voltados para o desenvolvimento e a aplicação da nanotecnologia em materiais poliméricos. Com a Figura 14, mostra que 99% das respostas, são afirmativas a esse respeito e apenas 1% a contradizer.

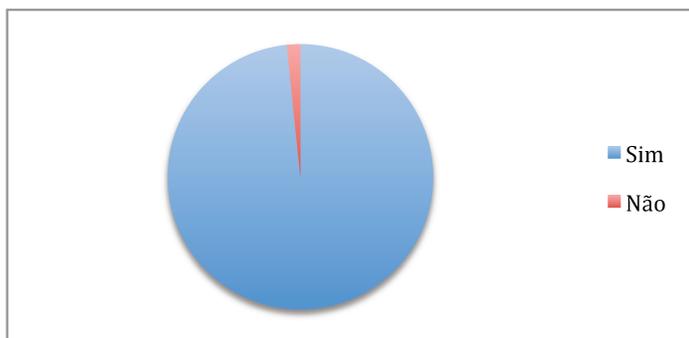


Figura 14: Necessidade de investimentos em nanotecnologia.

Presume-se que o respondente que optou pelo não, pertença à classe dos não familiarizados com o assunto. Assim, pode-se desconsiderar esta opção. A seguir, resumem-se os principais pontos comentados pelos respondentes a esta questão: necessidade se investir principalmente na pesquisa e desenvolvimento para se tornar possível a utilização da nanotecnologia em materiais poliméricos sem receio com os efeitos que possam causar ao meio ambiente e à saúde, podendo desta forma ser encontrada em todas as áreas presentes na vida moderna.

A quarta pergunta foi destinada às áreas de investimentos, sendo elas:

- a) Indústria
- b) Governo
- c) Academia
- d) Militar

A Figura 15 mostra as seguintes proporções:

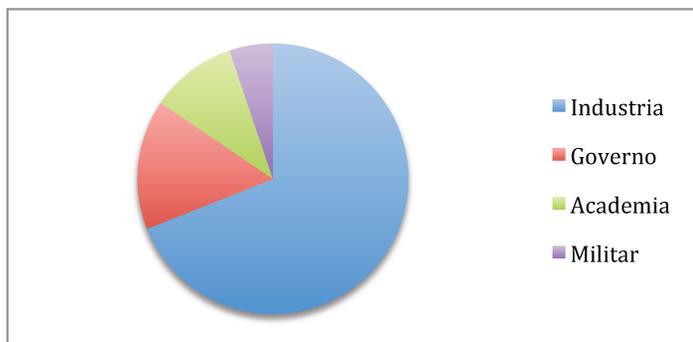


Figura 15: Áreas de investimento.

Observou-se que a indústria é o campo de maior necessidade de investimentos com 69%, seguido pelo governo com 16%, o acadêmico com 10% e por fim o militar com 5%, sendo válido ressaltar que a maioria dos respondentes que optaram pela indústria comentaram sobre a necessidade de também haver maiores investimentos do governo, pois após o investimento do governo em pesquisas iniciais, as indústrias passam a investir em projetos para uma segunda base.

Sobre a importância das pesquisas voltadas para nanomateriais poliméricos, questão cinco, pela Figura 16 fica evidente que todos concordam na sua importância, sendo que 71% considera muito importante e 29% considera importante, não se obtendo respostas que a consideram pouco importante ou irrelevante.

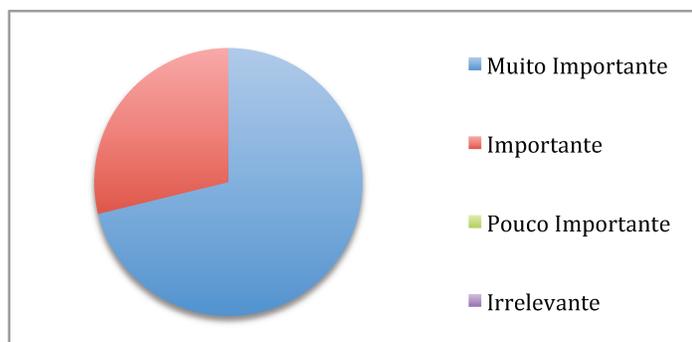


Figura 16: Importância de pesquisas na área de nanomateriais poliméricos.

Abaixo seguem os comentários mais relevantes recebidos sobre esta questão.

Quando são desenvolvidas pesquisas na área, as melhorias nas propriedades ficam evidentes, tornando os materiais poliméricos mais eficientes. A importância de pesquisas em segurança da nanotecnologia também é essencial, visto que não é possível saber ao certo o que esta nova tecnologia pode causar.

A questão seis versa sobre a expectativa dos respondentes para o aumento das utilizações dos nanocompósitos poliméricos, baseado no avanço desta tecnologia. Esta questão exigia respostas separadas para os itens, Termoplásticos, Termorrígidos, Blendas e Compósitos. Para efeito de cálculo estatístico, foi considerado um valor para cada resposta representando a Figura 17 os Termoplásticos, a Figura 18 os Termorrígidos, a Figura 19 as Blendas e a Figura 20, os Compósitos.

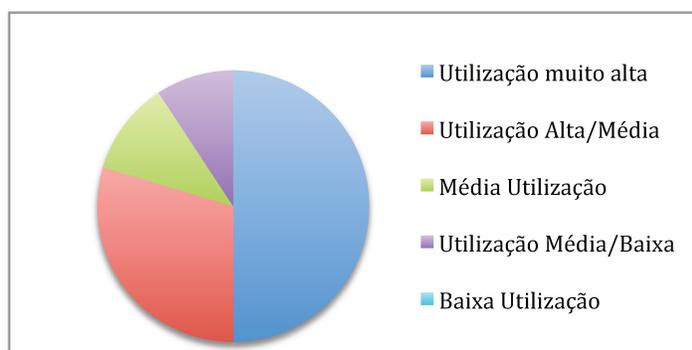


Figura 17: Percentagem dos termoplásticos em relação à utilização.

Por ser de manuseio fácil, os termoplásticos obtiveram 50% das respostas correspondentes a uma utilização muito alta, 30% de utilização alta/média, deixando evidente que será de grande uso em nanomateriais e obtendo apenas 11% de média utilização e 9% de baixa/média utilização.

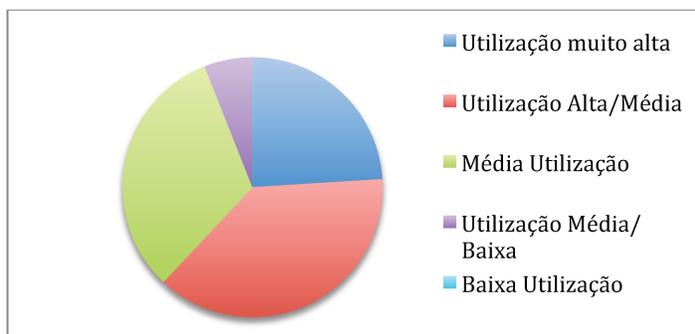


Figura 18: Percentagem dos termorrígidos em relação à utilização.

Fica evidente que por encontrar-se uma maior dificuldade no manuseio dos termorrígidos sua utilização não será tão alta quanto a dos termoplásticos, mas ainda assim haverá uma utilização relativamente alta. Assim, 24% dos respondentes optaram por utilização muito alta, 38% por utilização alta/média, 32% por média utilização e 6% por média/baixa, não recebendo respostas a utilização baixa.

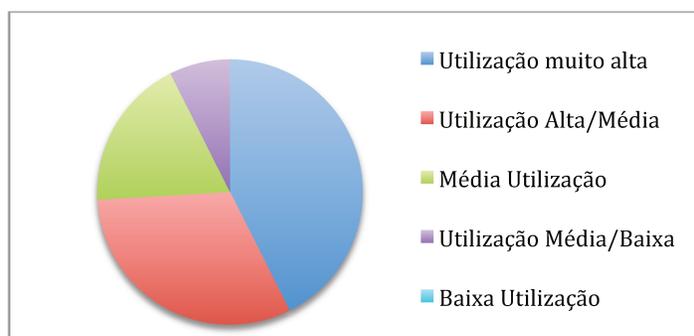


Figura 19: Percentagem de blendas em relação à utilização.

Com relação às blendas, o resultado foi de uma utilização alta, por ser de uma versatilidade vasta, sendo que 43% responderam que haverá uma utilização muito alta, 31% utilização alta/média, 19% utilização média e 9% utilização média/baixa.

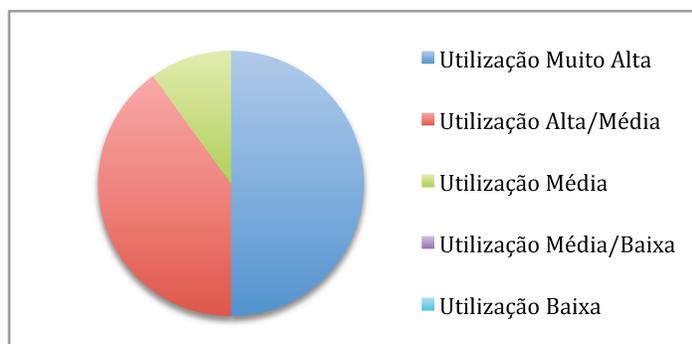


Figura 20: Percentagem de compósitos em relação à utilização.

Quanto aos compósitos a indicação que sua utilização será alta, tendo em vista que os nanocompósitos estarão presentes tanto em termoplásticos, termorrígidos quanto em blendas. Assim, 50% acredita que haverá alta utilização, 40% alta/média e apenas 10% acredita em uma média utilização.

As observações feitas pelos respondentes nesta questão foram principalmente sobre a necessidade de um avanço em máquinas de processamento, pois este é importante para alcançar a verdadeira escala nanométrica.

A questão sete procura saber a expectativa do respondente quanto à substituição dos materiais convencionais pelos novos modificados pela nanotecnologia. Novamente, para efeito de cálculos estatísticos foi considerado um valor para cada resposta. Os resultados percentuais referentes às opções de respostas estão apresentados nas figuras a seguir, sendo a Figura 21 sobre a substituição dos materiais na Agricultura:

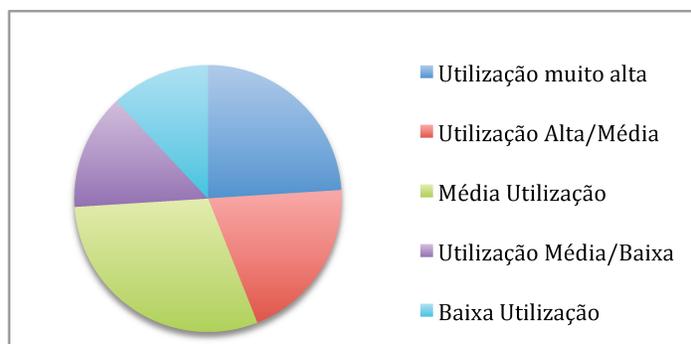


Figura 21: Substituição de materiais convencionais na Agricultura.

Na Agricultura a indicação é que a troca dos materiais convencionais por nanomateriais será de média a alta utilização, sendo possível entender por meio das respostas, que 24% acreditam que terá uma utilização muito alta, 20% utilização alta/média, 30% utilização média, 14% utilização média/baixa e 12% utilização baixa.

A Figura 22 vem mostrar a opinião dos respondentes sobre a substituição no campo da Física:

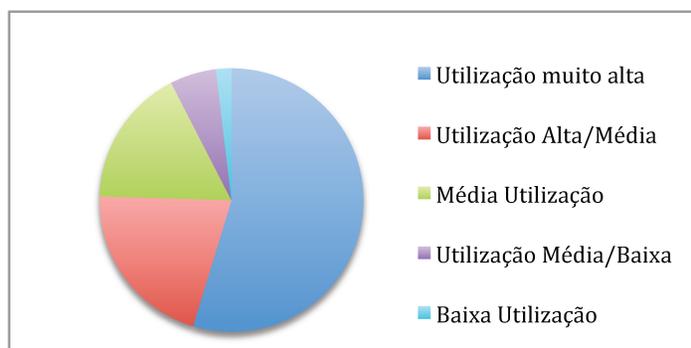


Figura 22: Substituição de materiais convencionais na Física.

Na Física ficou evidente que a substituição dos materiais causará uma alta utilização, tendo em vista que 55% das respostas foram para utilização muito alta, 21%

utilização alta/média, 17% média utilização, 6% utilização média/baixa e apenas 2% optaram por baixa utilização. São citadas algumas substituições como dispositivos fotovoltaicos, materiais semicondutores em dispositivos e nano dispositivos eletrônicos.

Quanto à Figura 23, pode-se observar a avaliação dos participantes quanto à substituição nas Engenharias em geral:

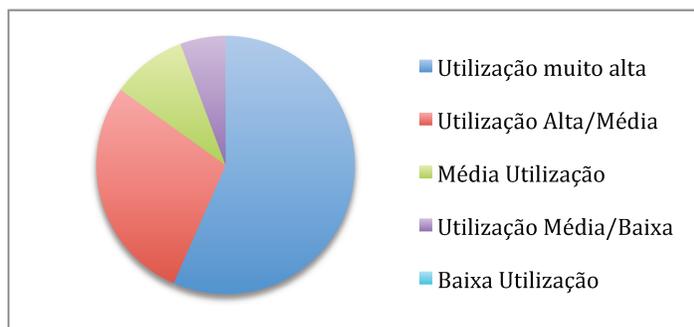


Figura 23: Substituição de materiais convencionais nas Engenharias.

Assim como na Física, a Engenharia terá alta utilização dos materiais nano modificados, como se pode observar na figura acima, sendo que 57% optaram por alta utilização, 28% alta/média, 9% média utilização e 6% média/baixa, ao analisar as respostas não houveram respostas para baixa utilização.

A Figura 24 apresenta o ponto de vista dos profissionais que participaram desta pesquisa, em relação à substituição na Medicina.

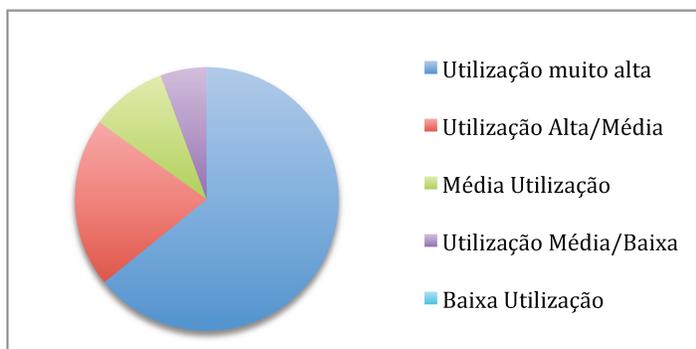


Figura 24: Substituição de materiais convencionais na Medicina.

A Medicina obteve o maior número de respostas para alta utilização dos materiais nanoestruturados, talvez por haver inúmeras possibilidades de desenvolvimentos de novos medicamentos e novos procedimentos. Desta forma, 64% acreditam que haverá alta utilização, 21% alta/média, 9% média utilização e apenas 6% acreditam em uma média/baixa utilização. Novamente se observa que não houve respostas acreditando em uma baixa utilização.

Na Figura 25 observa-se as avaliações quanto a substituição dos materiais convencionais no campo da Biologia:

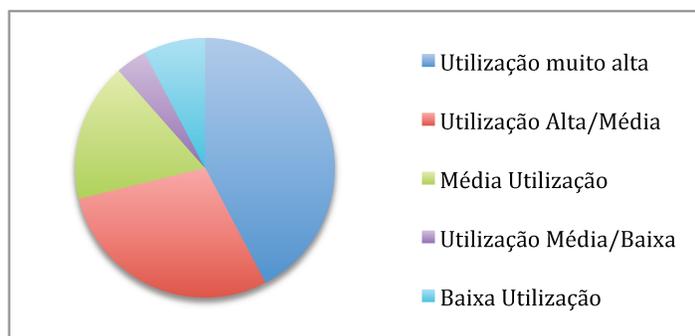


Figura 25: Substituição de materiais convencionais na Biologia.

Na Biologia, a substituição dos materiais será de alta utilização, sendo 42% das opções por muito alta, 29% por alta/média, 17% por média utilização, 4% média/baixa e 8% por baixa utilização.

Na Figura 26 é possível analisar o parecer dos participantes quanto a substituição dos materiais no campo da Química:

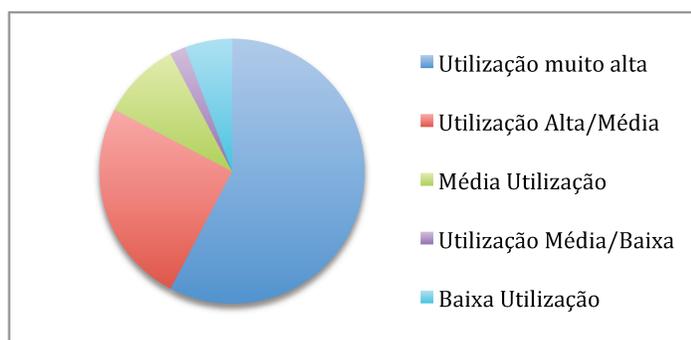


Figura 26: Substituição de materiais convencionais na Química.

Pode-se observar que a alta utilização na Química será grande, sendo que 58% dos respondentes optaram pela alta substituição dos materiais convencionais por nanomateriais, 25% optaram pela alta/média substituição, 10% acredita que haverá uma média substituição, 2% média/baixa, e 5% baixa substituição

A Figura 27 exibe um gráfico das opiniões sobre a substituição dos materiais convencionais nas Indústrias:

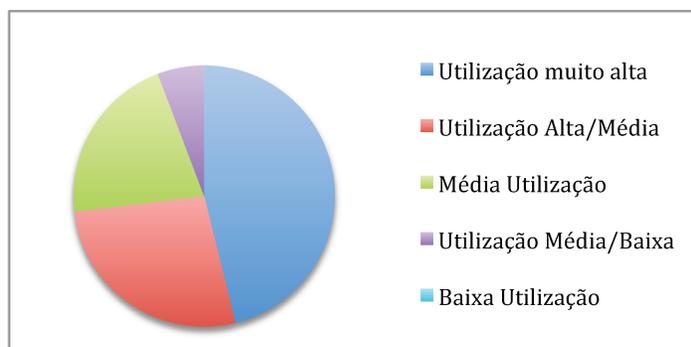


Figura 27: Substituição de materiais convencionais na Indústria.

As indústrias terão grande motivação nesta substituição segundo os respondentes, já que 46% acreditam em uma alta utilização, 27% em alta/média, 21% em média utilização e apenas 6% acreditam em média/baixa utilização, não se obtendo respostas para baixa utilização.

A Figura 28 traz o gráfico das respostas dos pesquisadores quanto à substituição dos materiais no campo Aeroespacial:

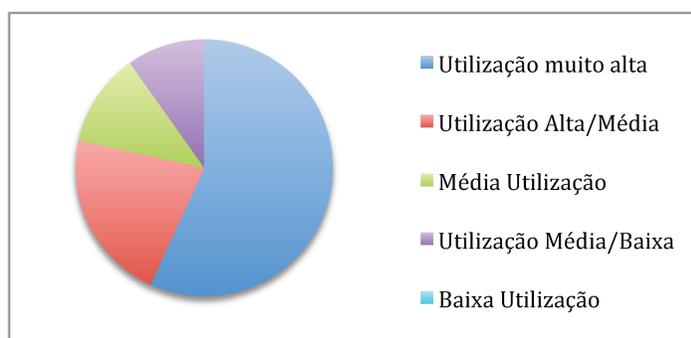


Figura 28: Substituição de materiais convencionais na área Aeroespacial.

No campo Aeroespacial haverá alta utilização, pois com a substituição dos materiais convencionais por nanomateriais poliméricos ocorrerá diminuição do peso de

aeronaves, resultando em menor queima de combustível, entre outros. Assim, 57% dos respondentes acreditam em uma alta utilização, 21% alta/média, 12% média utilização e apenas 10% acreditam em média/baixa sem haver respostas para baixa utilização.

Quanto à Figura 29, pode-se observar a opinião dos participantes em relação à substituição dos materiais convencionais em outras áreas não citadas:

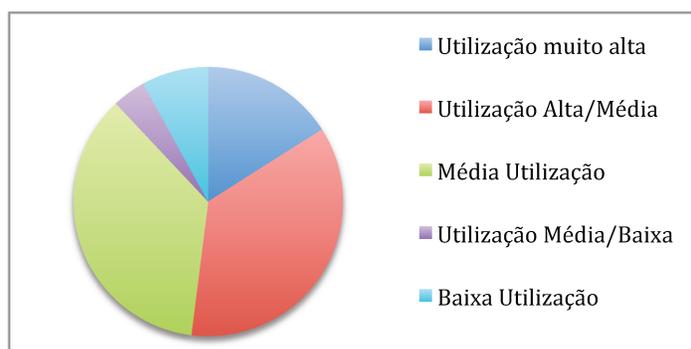


Figura: Substituição de materiais convencionais em outras áreas.

Outras áreas serão de média alta a média utilização, sem haver referência a estas outras áreas. Assim, 16% optaram por alta utilização, 36% em média/alta, 36% média utilização, 4% média/baixa e 8% em baixa utilização.

Não houve comentários adicionais nesta questão.

Quanto à diminuição de impacto ambiental, a questão oito teve o intuito de saber se se entende que ele existirá, considerando esta substituição dos materiais convencionais pelos novos, em um intervalo de trinta anos, tendo o respondente de optar pelas seguintes opções: utilização muito alta, utilização alta/média, utilização média, utilização Média/Baixa e utilização baixa, em diversas áreas, como pode ser

visto pelas Figuras a seguir. A Figura 30, representa o quadro de respostas relativo à diminuição do impacto ambiental na Agricultura:

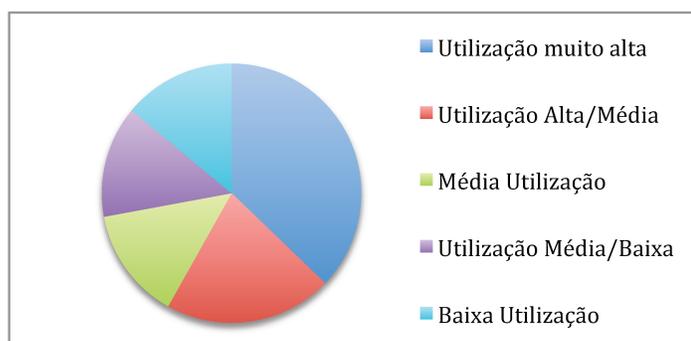


Figura 30: Diminuição do impacto ambiental na Agricultura.

Segundo 37% dos participantes a diminuição do impacto ambiental com a substituição dos materiais convencionais por novos será motivo de alta utilização, 21% alta/média, 14% média, 14% média/baixa e 14% baixa utilização. Esta variação pode ser explicada pela falta de conhecimento das consequências da utilização da nanotecnologia a longo prazo no meio ambiente e na saúde.

A Figura 31 mostra o ponto de vista dos participantes da utilização dos novos materiais na diminuição do impacto ambiental no campo da Física:

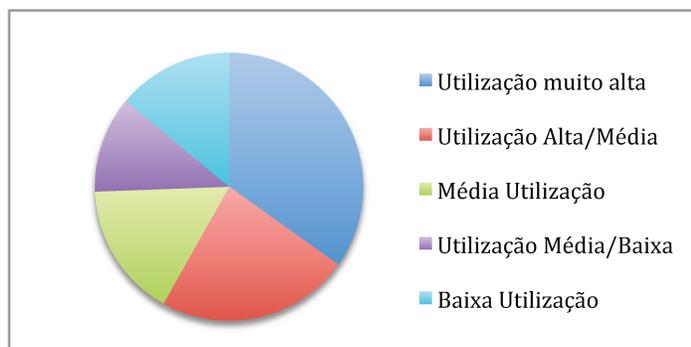


Figura 31: Diminuição do impacto ambiental na Física.

58% dos participantes acreditam que haverá entre alta e alta/media utilização dos novos materiais reduzindo os impactos ambientais na área da física, 16% optaram por média utilização , 12% por média/baixa e 14% por baixa utilização.

Na Figura 32, pode-se analisar as respostas quanto ao impacto ambiental nas Engenharias em geral:

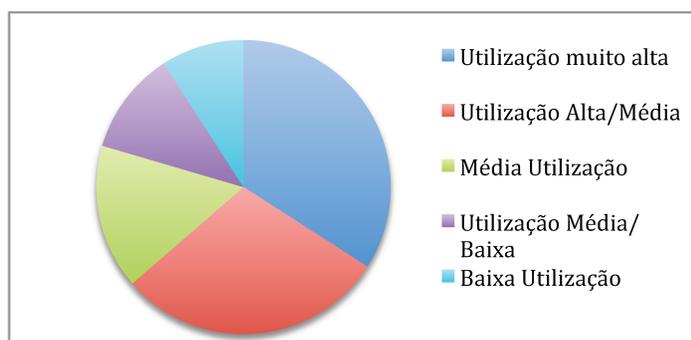


Figura 32: Diminuição do impacto ambiental nas Engenharias.

Em relação às Engenharias, fica evidente que a maioria dos respondentes acredita que haverá uma grande diminuição no impacto ambiental com a substituição dos materiais convencionais. Deste modo, 34% acreditam em alta utilização , 30% alta/média, 16% média, 11% média/baixa e apenas 9% em baixa.

Quanto à Figura 33, pode-se observar o resultado da pesquisa quanto à diminuição do impacto ambiental com a substituição dos materiais convencionais na Medicina.

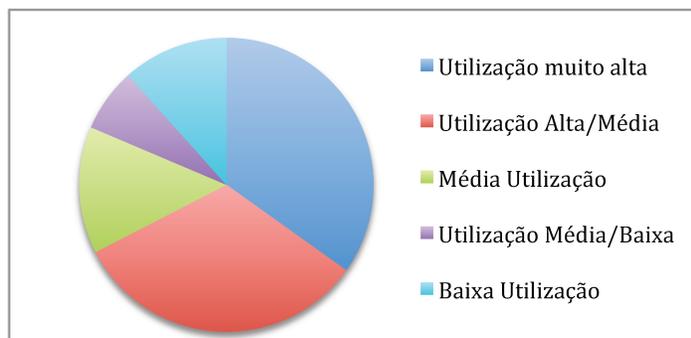


Figura 33: Diminuição do impacto ambiental na Medicina.

A Medicina também estima que ocorrerá uma diminuição no impacto ambiental já que 35% optaram por uma alta utilização, 33% por alta/média, 14% por média utilização, 7% por média/baixa e 12% por baixa utilização.

Quanto à diminuição do impacto ambiental na Biologia, a Figura 34 vem representar as opiniões dos participantes:

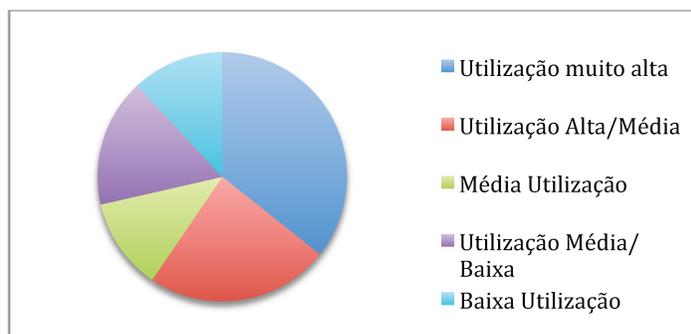


Figura 34: Diminuição do impacto ambiental na Biologia.

Na área da Biologia também se acredita que haverá grande utilização dos materiais novos substituindo os convencionais para a diminuição do impacto ambiental. Assim, 36% dos respondentes acha que será alta a utilização, 24% alta/média, 12%

média, 16% média/baixa e 12% acham que será de baixa utilização na diminuição do impacto ambiental.

A Figura 35 corresponde às avaliações dos participantes em relação à diminuição do impacto ambiental na Química:

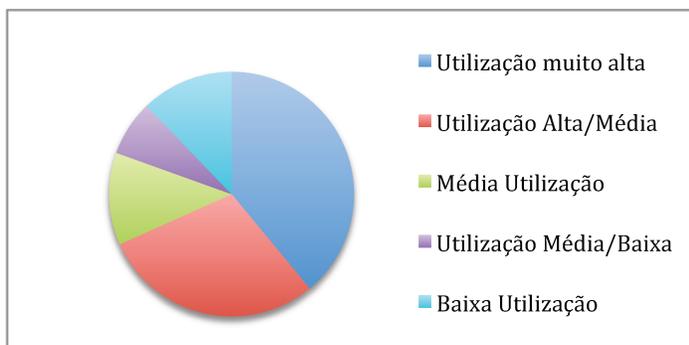


Figura 35: Diminuição do impacto ambiental na Química.

Na Química, onde existem muitos resíduos nocivos ao meio ambiente, a opinião dos respondentes faz acreditar que haverá grande diminuição do impacto ambiental com a utilização dos novos materiais, 39% deles acreditam na alta utilização, 29% em alta/média, 13% em média utilização, 7% em média/baixa e 12% em baixa utilização.

A Figura 36 introduz o parecer dos participantes quanto à diminuição do impacto ambiental nas Indústrias:

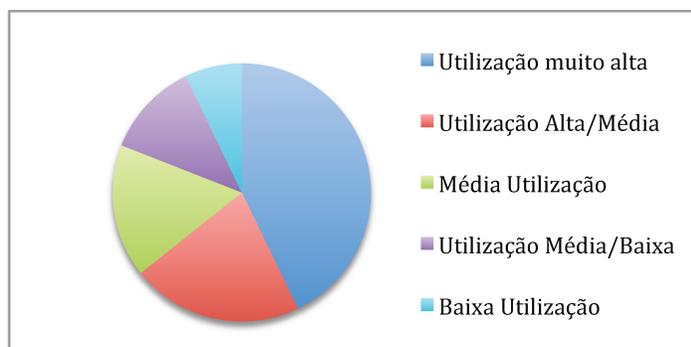


Figura 36: Diminuição do impacto ambiental na Indústria.

A Indústria foi a que mais recebeu opinião positiva na diminuição do impacto ambiental, onde 43% estão confiantes na alta utilização dos novos materiais, 21% alta/média, 17% média utilização, 12% em média/baixa e 7% em baixa utilização.

A diminuição do impacto ambiental no campo Aeroespacial com a substituição dos materiais convencionais, tem suas opiniões representadas pela Figura 37:

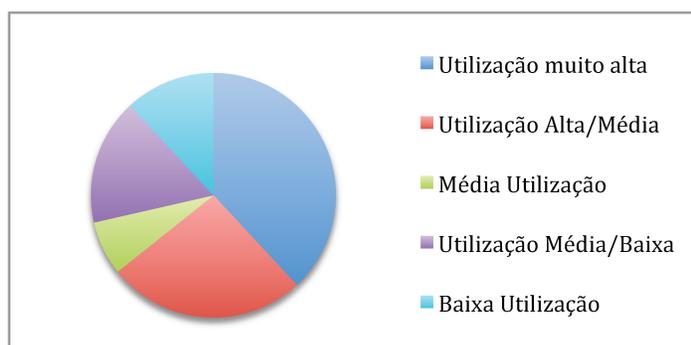


Figura 37: Diminuição do impacto ambiental na área Aeroespacial.

Com relação à área Aeroespacial, 38% optaram por alta utilização, 26% alta/média, 7% média, 17% média/baixa, 12% baixa utilização.

Os pontos de vistas dos respondentes quanto à diminuição dos impactos ambientais em outras áreas do conhecimento são representado pela Figura 38:

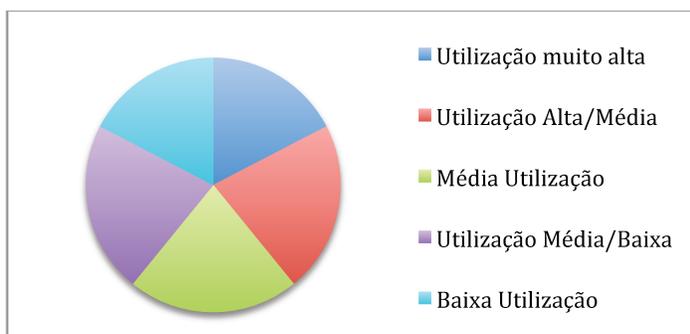


Figura 38: Diminuição do impacto ambiental em outras áreas.

Quanto as outras áreas pode-se observar que as opiniões sobre a diminuição do impacto ambiental se dividiram: 17% creem que será de alta utilização, 22% alta/média, 22% média utilização, 22% média/baixa e 17% baixa utilização.

No que concerne aos comentários, cita-se a opinião de que o uso de menos matéria-prima deve ser uma forma para diminuir os impactos ambientais, porém a toxicidade dos nanomateriais deve ser mais abordado, e discutida para se saber seu impacto ambiental.

Na questão nove foi pedido para os respondentes informarem sobre se o salto tecnológico no desenvolvimento de materiais poliméricos nanoestruturados, será relevante. Obteve-se 51% de Alta relevância, 37% de Alta / Média Relevância, 8% de Relevância Média e apenas 4% pensam que será de relevância Média/ Baixa, o resultado estatístico é representado na Figura 39:

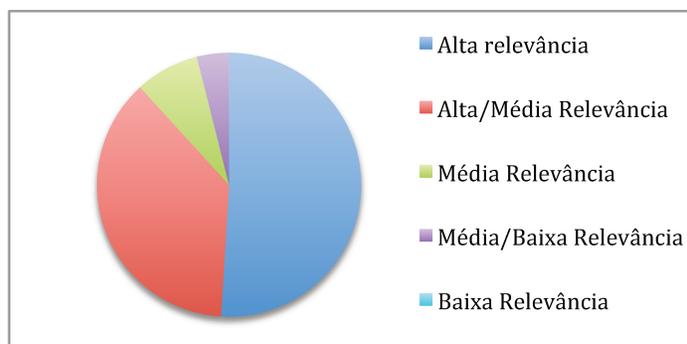


Figura 39: Salto tecnológico no desenvolvimento dos novos materiais.

Com isso, pode-se avaliar que a nanotecnologia provocará ao longo do tempo uma mudança tecnológica considerável, tendo em vista que haverá muitas substituições de materiais convencionais por estes novos materiais.

Já a décima questão pediu aos respondentes que citassem dificuldades atuais enfrentadas durante o desenvolvimento da nanotecnologia em materiais poliméricos que interferirão num futuro de trinta anos, sendo que a maioria dos respondentes citaram os recursos financeiros (26%), seguido por produção de larga escala (16%), meio ambiente e saúde com 9%, treinamento de profissionais com 8%. Outros problemas obtiveram 13% das respostas, 9% não souberam responder e 19% não responderam. O resultado pode ser visto no gráfico da Figura 40:



Figura 40: Dificuldades atuais no desenvolvimento da nanotecnologia.

A questão onze exigiu aos respondentes que previssem a difusão da nanotecnologia nos setores acadêmicos, industriais e governamentais, onde 34% dos respondentes disseram que em 10 anos apenas estará difundida, 18% acreditam que em 15 anos, 28% confiam que em 20 anos, 6% em 25 anos e, por fim, 14% acreditam que será em 30 anos ou mais. Com estas respostas pode-se concluir que não está claro quando ocorrerá a disseminação desta nova tecnologia, o que pode se observar pela representação na Figura 41:

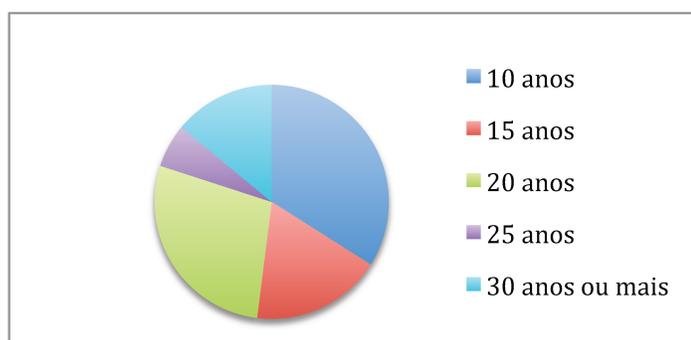


Figura 41: Difusão da nanotecnologia com relação ao tempo.

Para compreender melhor as possíveis melhorias nas propriedades dos materiais poliméricos na área de exatas, pediu-se que escolhessem de 1 a 5, sendo 1 de baixa importância e 5 de alta importância. As respostas podem ser analisadas nas figuras a seguir.

A Figura 42 mostra os pareceres quanto à melhoria das propriedades em temperaturas mais elevadas:

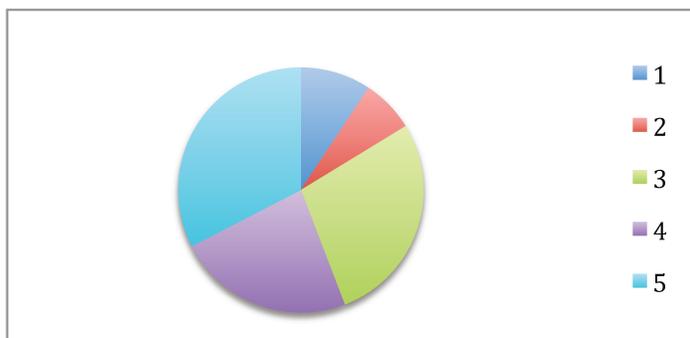


Figura 42: Permanência das propriedades em temperaturas elevadas.

Acredita-se que será de grande importância a melhoria das propriedades em temperaturas elevadas, assim, 33% das respostas optaram por alta importância (notas 5), 23% tiveram notas 4, 28% acreditam que terá média importância, 7% média/baixa e apenas 9% optaram pelo número 1 (baixa importância).

Quanto à melhoria na resistência ao impacto, as opiniões podem ser analisadas pela Figura 43:

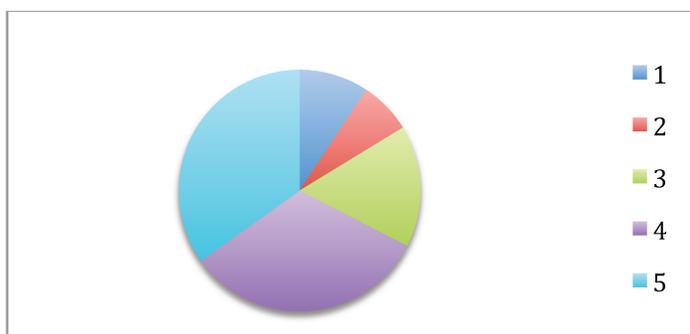


Figura 43: Resistência ao impacto.

A melhoria na resistência ao impacto é entendida como vindo a ter grande relevância, sendo que 35% optaram por alta importância (nota 5), 33% acreditam em

uma alta/média importância (nota 4), 16% em média importância (nota 3), 7% em média/baixa (nota 2) e por fim 9% acreditam em baixa importância (nota 1).

A melhoria na estabilidade dimensional dos materiais poliméricos também foi representada, mostrando-se as opiniões dos participantes pela Figura 44:

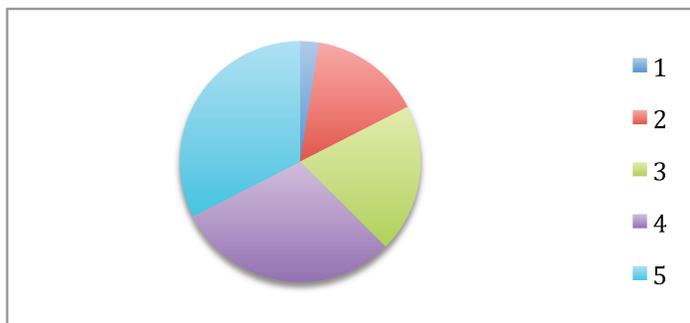


Figura 44: Estabilidade dimensional.

A estabilidade dimensional foi considerada pelos respondentes de importância significativa, obtendo-se 63% de respostas entre notas 5 e 4, 20% pensam que a importância será média, 15% média/baixa e apenas 2% não acreditam que será de grande importância.

A Figura 45 representa os pareceres quanto à melhoria das propriedades físicas dos materiais poliméricos:

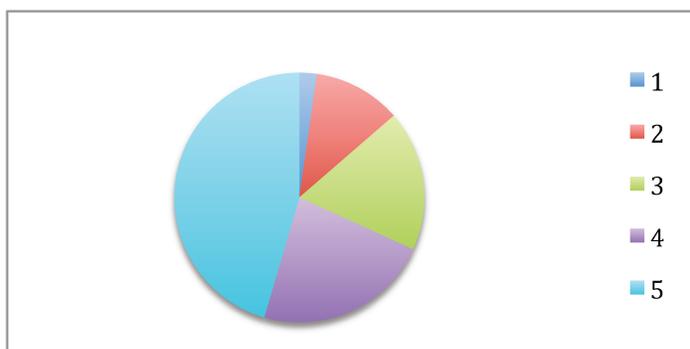


Figura 45: Propriedades físicas.

As propriedades físicas foram as que obtiveram maiores notas, com 68% entre 5 e 4, 18% acreditando em média importância, 11% em média/baixa e apenas 3% em baixa importância.

Os pontos de vistas dos respondentes, quanto à melhoria de outras propriedades, estão representadas na Figura 46:

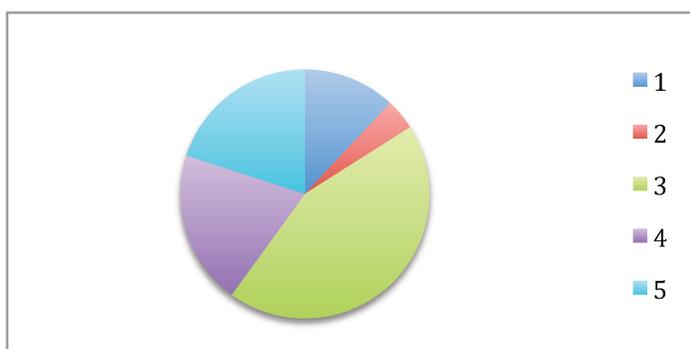


Figura 46: Outras propriedades.

Em relação à melhoria de outras propriedades foram citadas as propriedades de barreira, propriedades elétricas, viscoelasticidade e propriedades tribológicas: 20% atribuíram nota 5, mais 20% nota 4, 44% acreditam em uma média importância de outras propriedades, 4% atribuíram nota 2 e 12% acreditam em uma baixa importância em outras propriedades.

Pode-se observar que as melhorias nas propriedades físicas adquirem maior relevância, seguida por resistência ao impacto e empatando a relevância da permanência das propriedades em temperaturas elevadas e a estabilidade dimensional.

A questão 13 foi realizada para pesquisar a avaliação no aprimoramento das propriedades na área biológica, que pode ser analisado pelas figuras a seguir.

A Figura 47 apresenta os pareceres dos participantes em relação ao aprimoramento da biocompatibilidade:

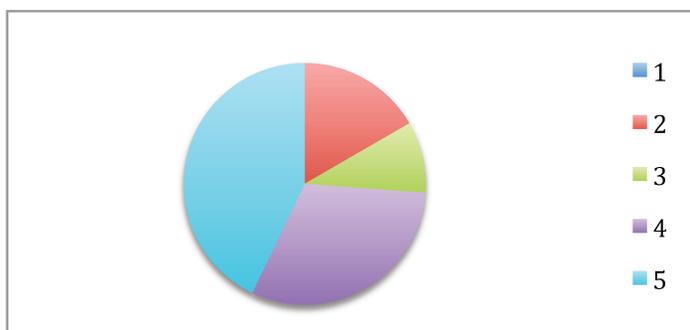


Figura 47: Aprimoramento da biocompatibilidade.

Quanto ao aprimoramento da biocompatibilidade, 43% estimam será de grande importância, optando pela nota 5, 31% estimam que a biocompatibilidade será de importância média alta (nota 4), 10% avaliaram esta propriedade sendo de média importância (nota 3) e 17% avaliaram em média baixa (nota 2), não obteve respostas optando por baixa importância.

A Figura 48 apresenta a opinião dos participantes quanto ao aprimoramento em *Drug Delivery*:

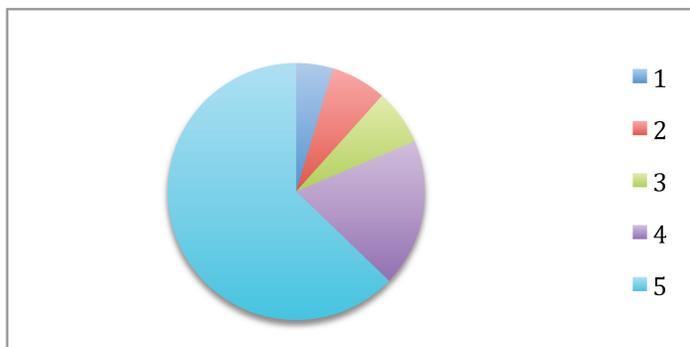


Figura 48: Aprimoramento em *Drug Delivery*.

A opção de maior importância desta questão foi o aprimoramento em *Drug Delivery*, onde foram atribuídas notas 5 e 4 para 82% das respostas, restando 7% com nota 3, 7% nota 2 e apenas 4% com nota 1, de baixa importância.

Na Figura 49 é possível observar o que os participantes pensam em relação ao aprimoramento em diagnósticos clínicos:

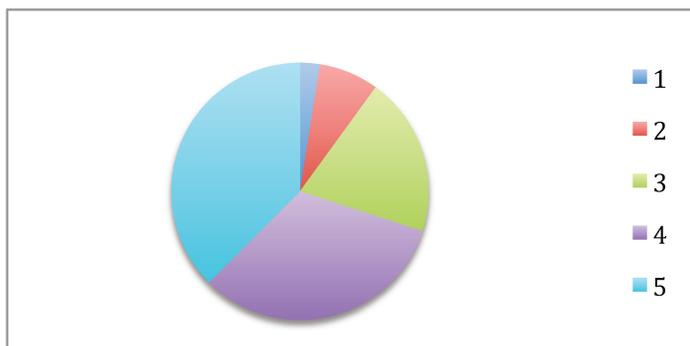


Figura 49: Aprimoramento em diagnóstico clínico.

Estima-se que os diagnósticos clínicos também serão importância relevante, já que 70% atribuíram notas 5 e 4, 20% pensam que este será de média importância, 8% em média/baixa e apenas 2% pensam que será de baixa importância.

A Figura 50 apresenta os dados sobre o aprimoramento em biomarcadores:

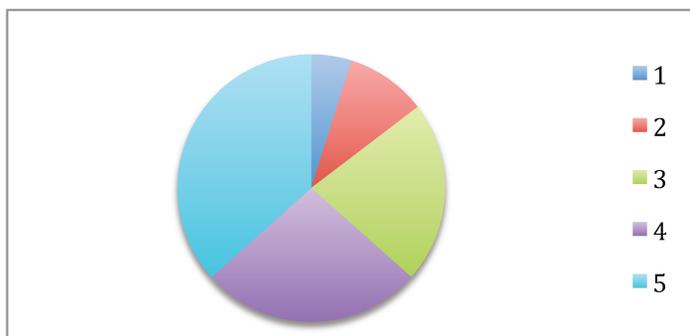


Figura 50: Aprimoramento em biomarcadores.

O aprimoramento de biomarcadores foi considerado por 37% dos respondentes de alta importância (nota 5), 27% consideraram de alta/média, 22% em média importância, 10% média/baixa e apenas 4% acreditam que será de baixa importância.

Quanto ao aprimoramento em terapias regenerativas autólogas a Figura 51 vem representar as opiniões neste quesito:

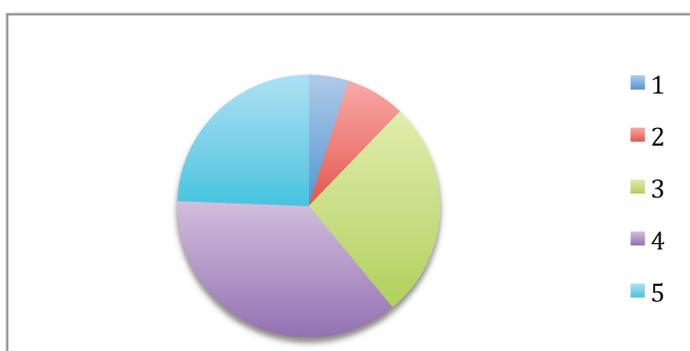


Figura 51: Aprimoramento em terapias regenerativas autólogas.

O aprimoramento em terapias regenerativas autólogas obteve opiniões divididas entre notas alta importância e média importância, tendo em vista que 24% atribuíram nota 5, 37% avaliarem este requisito com nota 4, 27% com nota 3, 7% com nota 2, e somente 5% com nota 1. O que mostra um crescente caminho de consolidação no funcionamento destes novos materiais, talvez pela relativa novidade na área, no aprimoramento em terapias regenerativas autólogas.

A Figura 52 apresenta os pontos de vistas no aprimoramento em outras propriedades biológicas:

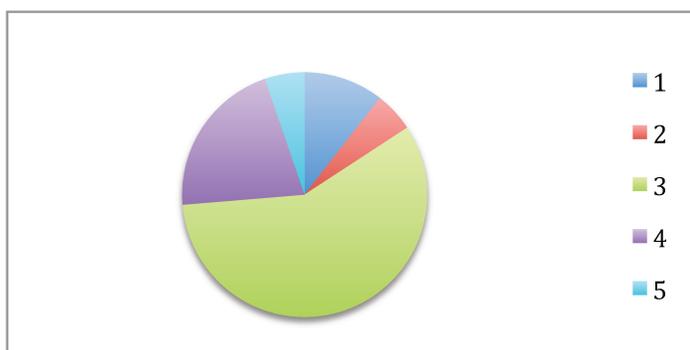


Figura 52: Aprimoramento em outras propriedades biológicas.

Pode-se observar que a maioria das opiniões em relação à outras propriedades biológicas acreditam que será de média importância, porém não foram relatadas outras propriedades importantes. Apenas 5% dos respondentes acreditam na alta importância de outras propriedades, 21% em alta/média, 58% em média importância, 5% média/alta e 11% em baixa importância.

Em termos comparativos, *Drug Delivery* é avaliada como de maior importância, seguida pela biocompatibilidade, os diagnósticos clínicos e as terapias regenerativas autólogas.

Por meio da questão quatorze, procurou-se identificar os principais obstáculos à evolução da nanotecnologia em materiais poliméricos, seguindo sua importância.

A figura 53 apresenta um gráfico sobre a importância da matéria-prima como obstáculo na evolução da nanotecnologia em materiais poliméricos:

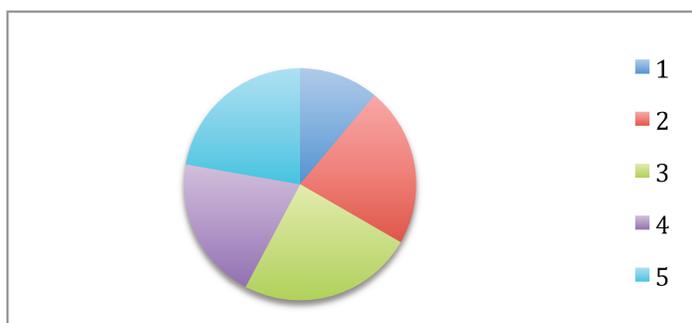


Figura 53: Obstáculos em relação à matéria-prima.

A opinião sobre os obstáculos da matéria-prima ficou dividida, sendo que 22% optaram pela nota 5, 21% pela nota 4, 24% pela nota 3, 22% pela nota 2 e 11% pela nota 1. Assim, fica claro que, devido provavelmente à novidade no assunto, ainda não é possível inferir se a matéria-prima será um grande empecilho à evolução da nanotecnologia em materiais poliméricos.

A Figura 54 mostra as opiniões quanto aos obstáculos em relação às patentes:

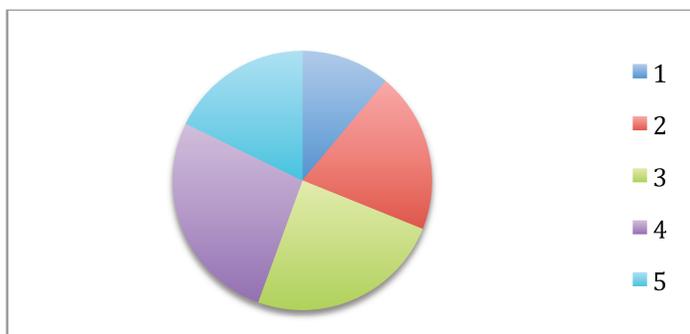


Figura 54: Obstáculos em relação à patente.

Quanto à patente, 18% dos respondentes acreditam que será de grande importância, 27% de alta/média importância, 24% acredita que será de média importância, 20% média/baixa e 11% de baixa importância em ser obstáculo na evolução da nanotecnologia em materiais poliméricos. Desta forma, pode-se concluir que a patente causará interferência considerável na evolução da nanotecnologia.

Os obstáculos em relação a custos energéticos são representados pela Figura 55:

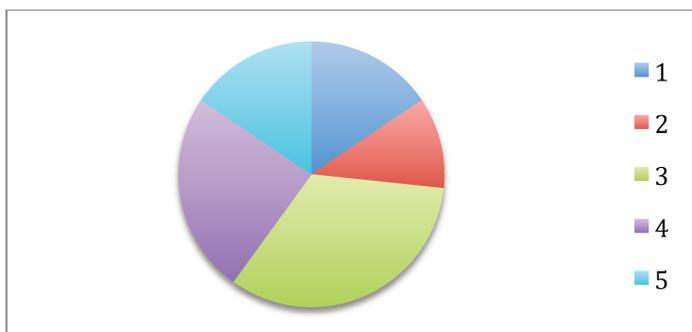


Figura 55: Obstáculos em relação a custos energéticos.

Quanto aos custos energéticos, 40% atribuíram notas 5 e 4, 33% atribuíram nota 3, 11% nota 2 e 16% nota 1. Assim, verifica-se a dificuldade de agregar tanta importância a apenas um obstáculo.

A Figura 56 representa as opiniões dos participantes quanto os obstáculos em relação às limitações da capacidade produtiva:

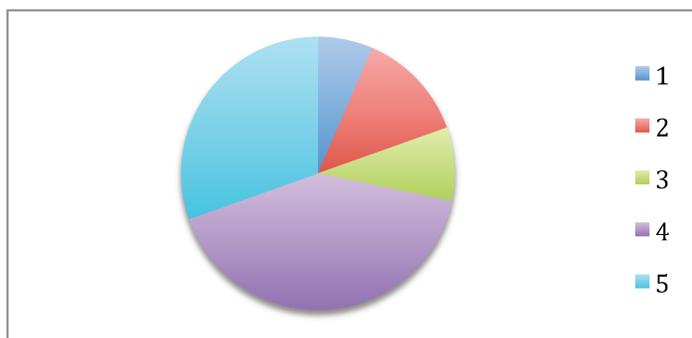


Figura 56: Obstáculos em relação às limitações da capacidade produtiva.

Os limites da capacidade produtiva foi o obstáculo que chamou mais atenção dos respondentes, pois 71% atribuíram notas 5 e 4, 9% nota 3, 13% nota 2 e apenas 7% nota 1. A capacidade produtiva é definitivamente um dos obstáculos mais difícil de ser atravessado.

Na Figura 57, é representado o tratamento estatístico dos pontos de vista dos respondentes quanto aos obstáculos no desenvolvimento da nanotecnologia em relação à disponibilidade da matéria-prima:

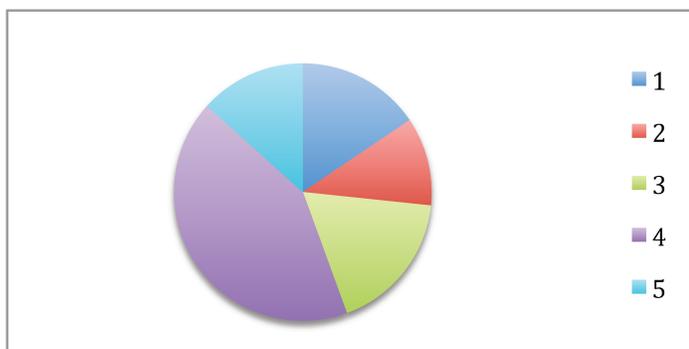


Figura 57: Obstáculos em relação à disponibilidade da matéria-prima.

A disponibilidade da matéria-prima também é um problema a ser enfrentado, pois 55% dos participantes estimam que será um obstáculo relevante, 18% estão confiantes que este obstáculo será de média relevância, 11% média/baixa e 16% pensam que será de baixa relevância.

A Figura 58 representa os pareceres dos participantes quanto aos obstáculos devido a outros problemas:

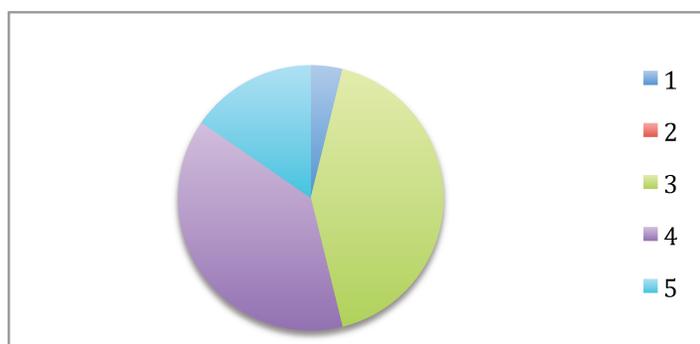


Figura 58: Obstáculos em relação a outros problemas.

Não foram citados outros obstáculos a serem enfrentados, porém os pesquisados acreditam que haverá outros grandes obstáculos pois 53% deles atribuíram notas 5 e 4, 42% atribuíram nota 3, e apenas 5% nota 1.

É possível observar que nenhuma das possibilidades é considerada de extrema importância, mas as limitações da capacidade produtiva e a disponibilidade da matéria-prima ganharam um destaque, tornando-se relevantes.

A questão quinze se importou com os impactos sociais, econômicos, industriais, acadêmicos e políticos da evolução dessa nova tecnologia, tendo como respostas representado nas figuras a seguir.

A Figura 59 traz opiniões sobre a importância dos impactos sociais:

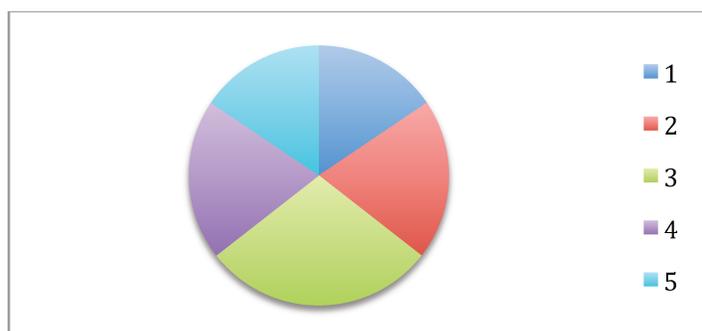


Figura 59: Impactos sociais.

Os impactos sociais serão de média importância segundo os participantes, com 28% de nota 3, 16% atribuíram nota 5, 20% nota 4, 20% nota 2 e 16% nota 1. Desta maneira o impacto social não terá grande relevância comparado a impactos de outra natureza.

A Figura 60 apresenta os pontos de vistas quanto à importância dos impactos econômicos:

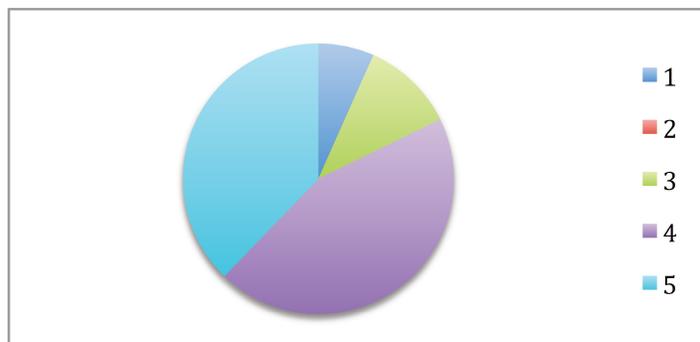


Figura 60: Impactos econômicos.

Com 82% dos votos dos participantes (entre notas 5 e 4), os impactos econômicos serão de grande relevância, sendo que 11% ainda acreditam que este impacto será de média relevância, e 7% crê que será de baixa relevância.

A Figura 61 representa os pareceres dos participantes quanto à importância dos impactos industriais:

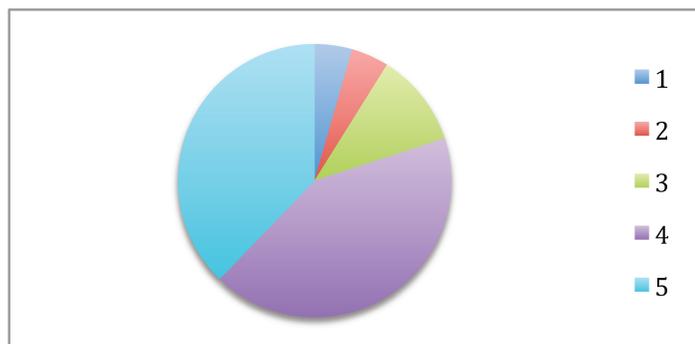


Figura 61: Impactos industriais.

O impacto causado nas indústrias será o segundo impacto mais relevante segundo os pesquisados, com 81% dos votos entre 5 e 4, 11% atribuindo nota 3, 4% nota 2 e 4% nota 1.

Os impactos acadêmicos são representados pela Figura 62, contendo as avaliações dos participantes quanto a este quesito:

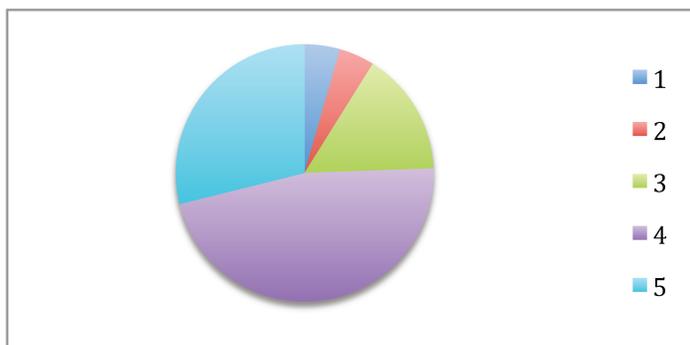


Figura 62: Impactos acadêmicos.

A academia também sofrerá grandes impactos, com 76% entre notas 5 e 4, 16% com nota 3, 4% nota 2 e mais 4% com nota 1. As pesquisas sobre a nanotecnologia em materiais poliméricos está crescendo e a tendência para os próximos anos é que aumente exponencialmente.

A Figura 63 se refere à importância dos impactos políticos:

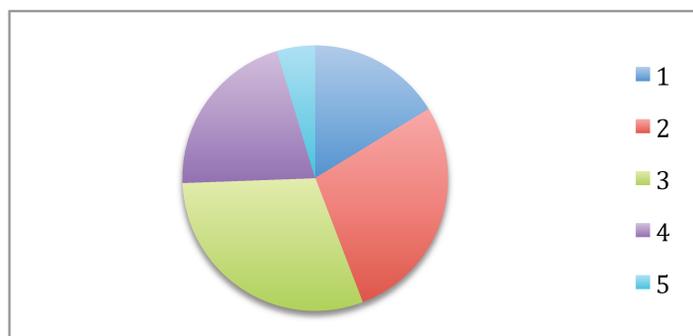


Figura 63: Impactos políticos.

Quanto aos impactos políticos, a relevância será entre média e média/baixa com 58% dos votos entre 3 e 2, sendo que somente 5% dos pesquisados acreditam que terá grande importância, 21% alta/média, e 16% está confiante de que será de baixa importância.

A Figura 64 apresenta os pontos de vista dos participantes em relação a outros impactos possíveis:

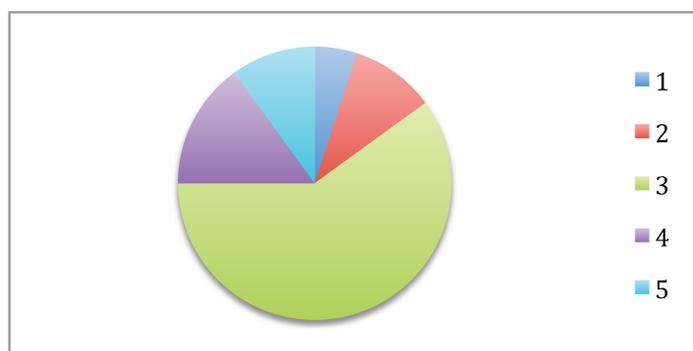


Figura 64: Outros impactos.

Novamente se torna possível observar que a avaliação é de poder conferir importância ao impacto, mas considerado não tão radical, sendo principalmente no setor econômico, que a questão é colocada, seguido pelo industrial e pelo acadêmico.

A relevância destes novos materiais nas áreas de estudo também foi questionada a partir da pergunta dezesseis, exigindo dos respondentes que optassem entre essencial, muito relevante, relevante, pouco relevante e irrelevante para cada área citada:

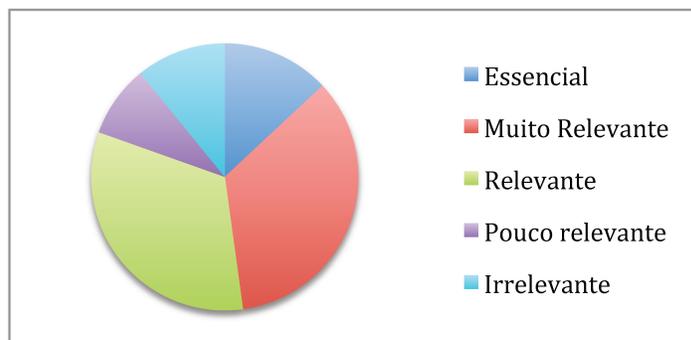


Figura 65: Relevância dos novos materiais na Agricultura.

Através da Figura 65, pode-se observar que a avaliação em relação aos novos materiais na Agricultura vão de muito relevante a relevante, obtendo-se 13% do votos em essencial, 35% muito relevante, 32% acreditam que será apenas relevante, 9% crê que será de pouca relevância e 11% pensam que os novos materiais na Agricultura serão irrelevantes.

A Figura 66 apresenta as opiniões dos respondentes quanto à relevância dos novos materiais na Medicina:

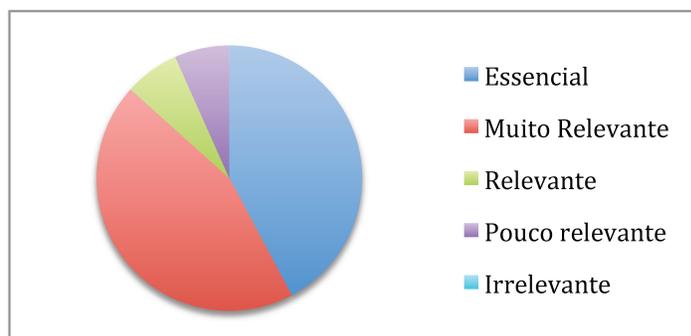


Figura 66: Relevância dos novos materiais na Medicina

Quanto à Medicina, pode-se observar por meio da Figura 66 que 42% dos pesquisados creem que os novos materiais serão essenciais, 44% consideram-nos muito relevantes, 7% relevantes e 7% pouco relevantes.

A estimativa de relevância dos novos materiais nas Engenharias em geral, é representada pela Figura 67:

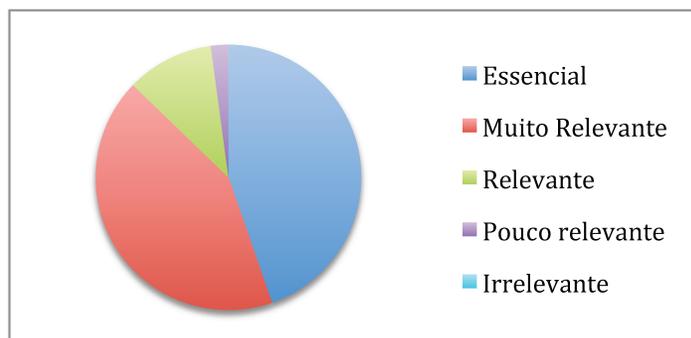


Figura 67: Relevância dos novos materiais nas Engenharias.

A Figura 67 mostra a relevância dos novos materiais nas Engenharias, onde 45% acreditam que será essencial, 43% muito relevante, 11% relevante e apenas 1% considera pouco relevante.

Na Figura 68 podem-se observar os dados em relação à relevância dos novos materiais no campo da Química:

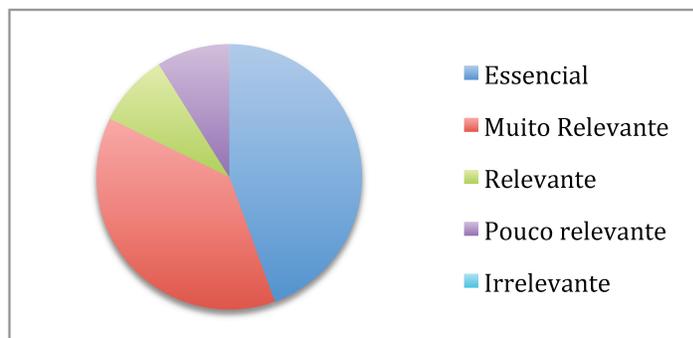


Figura 68: Relevância dos novos materiais na Química.

Quanto à Química, a Figura 68 vem mostrar que 44% dos participantes acreditam que os novos materiais serão essenciais, 38% acham que serão muito relevantes, 9% pensam que serão relevantes e 9% pouco relevantes.

Pela Figura 69 é possível analisar os pareceres dos participantes, quanto à relevância dos novos materiais no campo da Física:

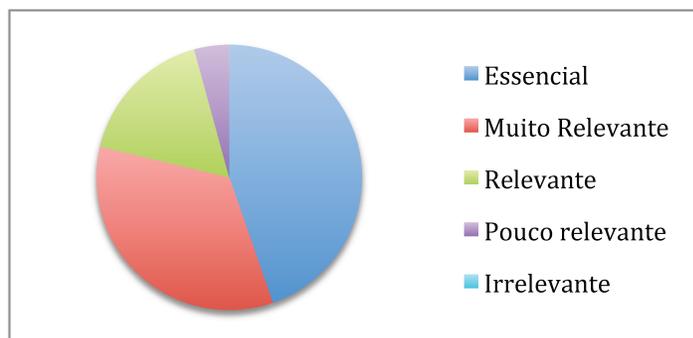


Figura 69: Relevância dos novos materiais na Física

A relevância dos novos materiais na Física também será alta, onde 45% creem que serão essenciais, 34% muito relevante, 17% relevante e 4% pouco relevante.

A relevância na Informática também foi levada em consideração, podendo ser observados os pontos de vistas dos respondentes pela Figura 70:

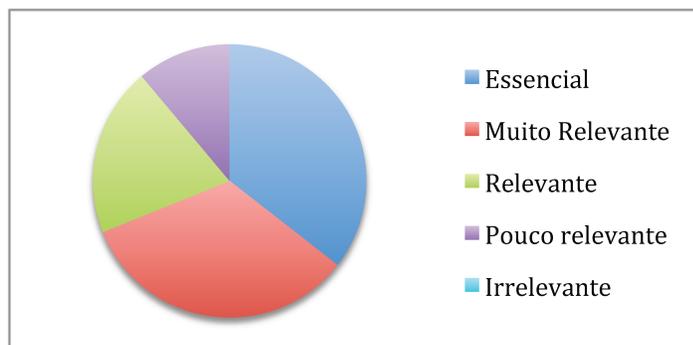


Figura 70: Relevância dos novos materiais na Informática.

Os novos materiais na Informática também serão de grande relevância segundo os pesquisados, onde 36% consideram essencial, 33% muito relevante, 20% relevante e 11% pouco relevante.

A Figura 71 apresenta as ideias dos participantes quanto à relevância dos novos materiais na Biologia:

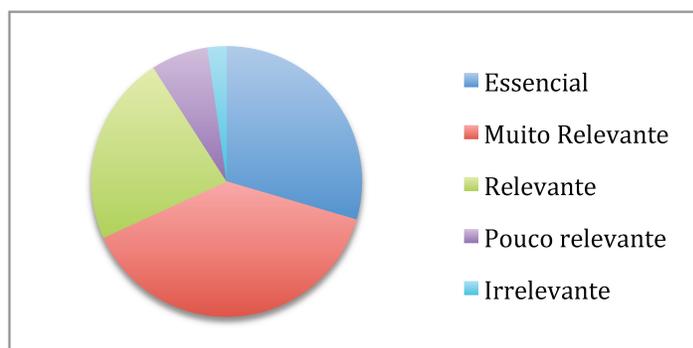


Figura 71: Relevância dos novos materiais na Biologia.

As respostas relativas à Biologia tiveram 69% acreditando que serão essenciais e muito relevantes, 23% considerando-os apenas relevantes, 7% pouco relevantes. Somente 1% considera irrelevantes os novos materiais para esta área específica.

Na Figura 72 pode-se analisar a relevância dos novos materiais no campo Aeroespacial, segundo as opiniões dos participantes:

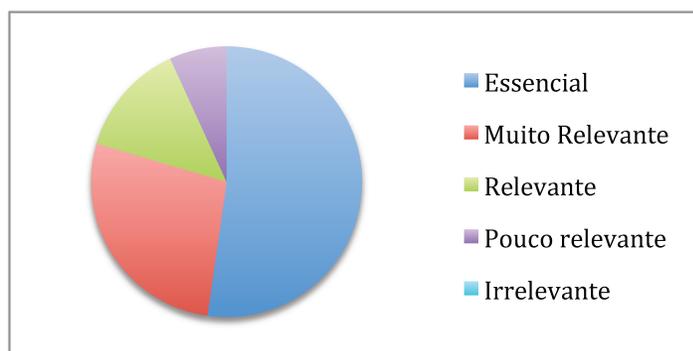


Figura 72: Relevância dos novos materiais na área Aeroespacial

Quanto a área Aeroespacial, a Figura 72 mostra que entre todas as áreas, esta será a de maior relevância, sendo a favor de substituição dos materiais pesados por mais leves e mais resistentes e de melhor qualidade, pois 52% dos pesquisados acreditam ser essencial, 27% acreditam ser muito relevantes, 14% estimam-nos como relevantes e 7% os veem como pouco relevantes.

A Figura 73 apresenta a relevância dos novos materiais em outras áreas:

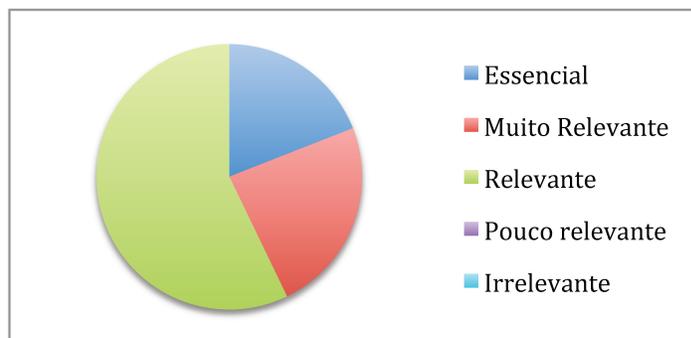


Figura 73: Relevância dos novos materiais em outras áreas.

A relevância em outras áreas não citadas será importante como se pode ver na Figura 73, onde 19% mostra ser essencial, 24% muito relevante e 57% relevante. Porém não foi explicitada nenhuma área específica como exemplo.

Fico evidente que a área aeroespacial considera essencialmente relevante o desenvolvimento desta tecnologia.

O questionamento de número 17 foi sobre a necessidade de desenvolver novos equipamentos para essa nova classe de materiais, de essencial a irrelevante. Pela Figura 74, pode-se observar que 57% acreditam ser essencial novos equipamentos, 26% consideram muito relevante e 17% pensam que é relevante, mas não essencial. Pode-se observar que nenhum dos respondentes considerou irrelevante a criação de novos equipamentos, talvez por ainda serem escassos as formas de manipulação desta tecnologia.

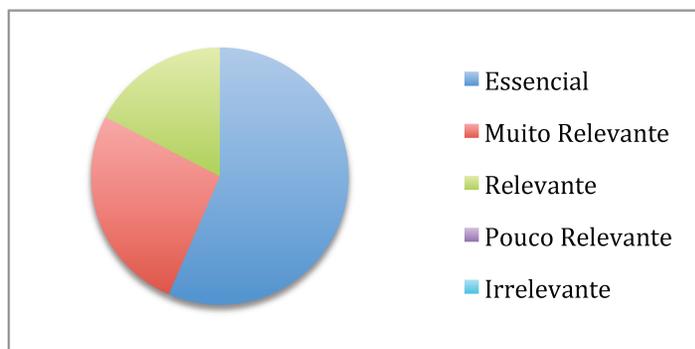


Figura 74: Necessidade de novos equipamentos.

Continuando a falar sobre equipamentos, a questão 18 exige saber a relevância de se formar mão de obra qualificada para o manuseio dos equipamentos. Com a Figura 75, é possível dizer que a maioria dos respondentes considerou essencial, com 62%, 30% a viu como muito relevante, 6% relevante e apenas 2% acredita ser pouco relevante.

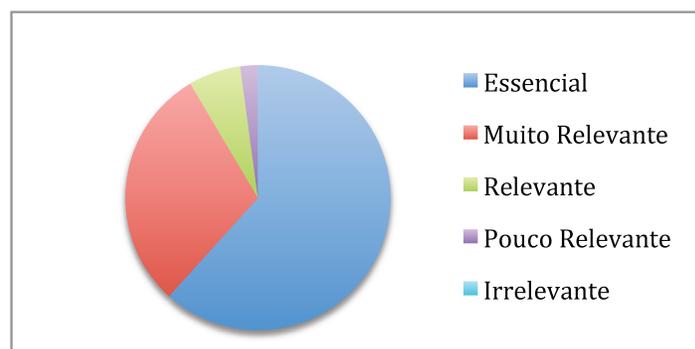


Figura 75: Relevância de mão de obra qualificada.

Para saber sobre a produção em larga escala desta nova classe de materiais num prazo de 20 a 30 anos, pediu-se que respondessem por áreas de pesquisa.

A Figura 76 apresenta as opiniões quanto à produção em larga escala na Agricultura:

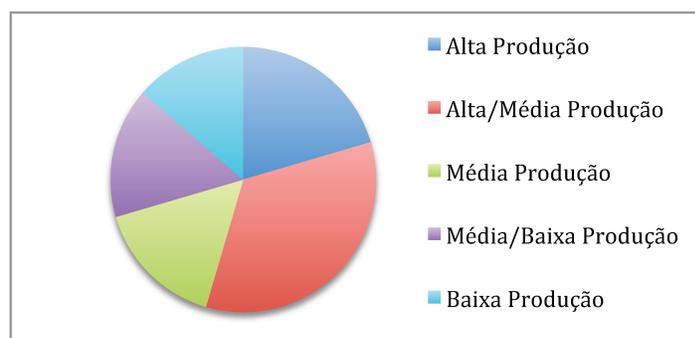


Figura 76: Produção em larga escala na Agricultura.

Na Agricultura, segundo 20% dos respondentes haverá alta produção, 34% acreditam que haverá alta/média produção, 16% média produção, 16% média/baixa produção e 14% acreditam que a produção em larga escala será baixa.

A produção em larga escala na Medicina é representada pela Figura 77 contendo o tratamento estatístico dos pareceres dos participantes:

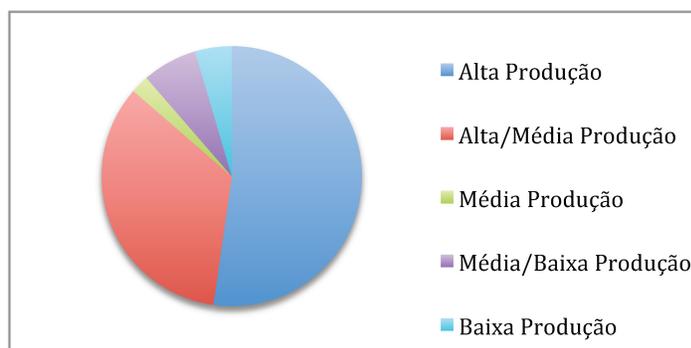


Figura 77: Produção em larga escala na Medicina.

Em relação à Medicina, a produção em alta escala será alta, correspondendo a 52% das opiniões dos respondentes, enquanto 34% acreditam que será alta/média, 2% pensam que será média, 7% média/baixa e 5% acreditam que a produção em alta escala será baixa.

A Figura 78 mostra a perspectiva dos participantes quanto à produção em larga escala nas Engenharias em geral:

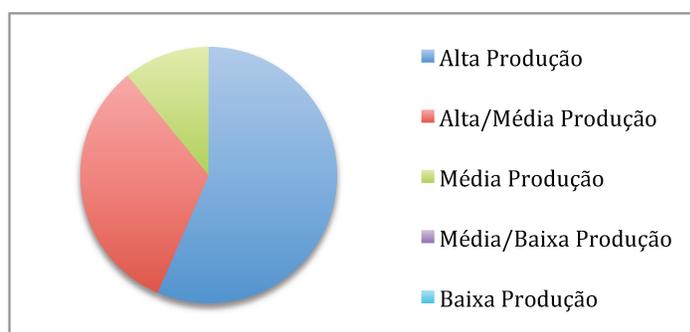


Figura 78: Produção em larga escala nas Engenharias.

Nas Engenharias a indicação vai no sentido de uma alta produção em larga escala, com 57% acreditando que haverá alta produção, 33% alta/média produção, e 10% acreditando que haverá uma média produção, sendo interessante destacar que ninguém acredita que a produção em larga escala será de média/baixa a baixa produção.

Na Figura 79 é possível observar os pontos de vistas dos respondentes em relação à produção em larga escala no campo da Química:

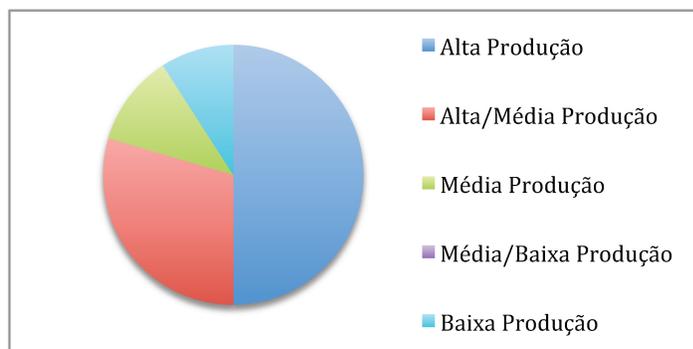


Figura 79: Produção em larga escala na Química.

Analisando o gráfico da Figura 79 contendo o tratamento estatístico das opiniões dos respondentes, pode-se dizer que a indicação é que a produção em larga escala no campo da Química seja alta, correspondente a crença de 50% dos pesquisados. Já 30% creem que a Química terá uma produção de grau alto/médio, 11% pensam que será uma média produção em larga escala, enquanto somente 9% estão confiantes em que a produção em larga escala será baixa.

Na Figura 80, o gráfico representa a produção em larga escala no campo da Física, segundo os pesquisados:

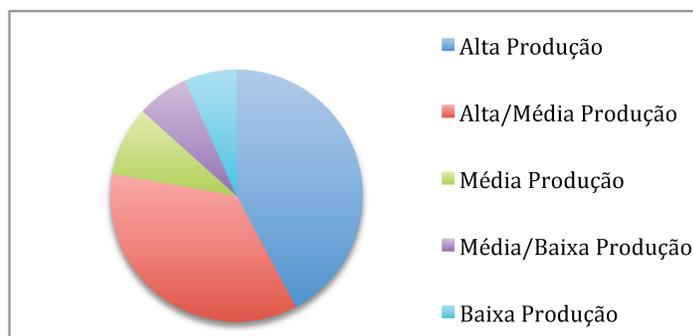


Figura 80: Produção em larga escala na Física.

Observando a figura acima, é possível dizer que a estimativa de uma alta e alta/média produção é elevada, sendo que 42% acreditam em alta produção em larga escala, 35% em uma alta/média produção, havendo ainda 9% que creem em uma media produção, 7% em média/baixa e 7% em baixa produção em larga escala no campo da Física.

O cenário sobre o futuro da produção em larga escala no campo da Informática está apresentada pelo gráfico na Figura 81:

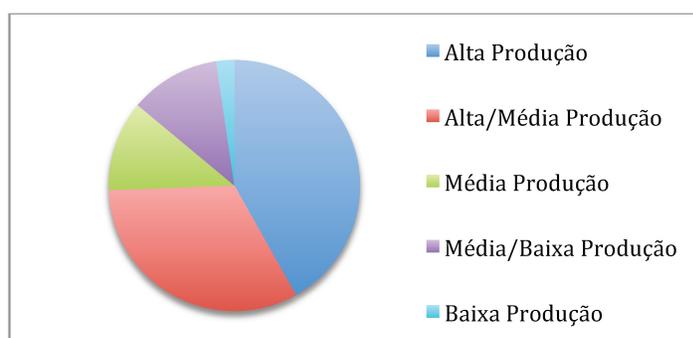


Figura 81: Produção em larga escala na Informática.

Interpretando a Figura 81, pode-se concluir que a produção em larga escala no campo da Informática é estimada entre alta e alta/média, segundo os participantes desta pesquisa, onde 42% optaram pela alta produção, 32% por alta/média, 12% média produção, 12% média/baixa e apenas 2% acreditam que haverá uma baixa produção.

Para saber as tendências na produção em larga escala na Biologia, a Figura 82 apresenta um gráfico com a opinião dos respondentes sobre o assunto:

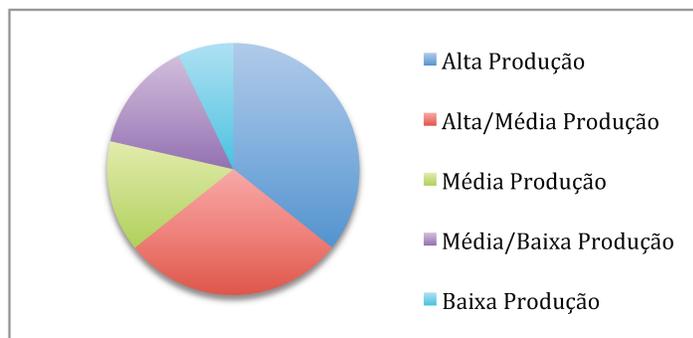


Figura 82: Produção em larga escala na Biologia.

Ao analisar o gráfico acima é possível averiguar que novamente a maioria dos participantes pensa que a produção em larga escala nesta área será alta, tendo em vista suas escolhas: 36% estimam por alta produção, 29% por alta/média, 14% por média produção, 14% média baixa e 7% supõe que será uma baixa produção.

Quanto à produção em larga escala no campo Aeroespacial, a Figura 83 vem representar os pareceres dos participantes nesta área:

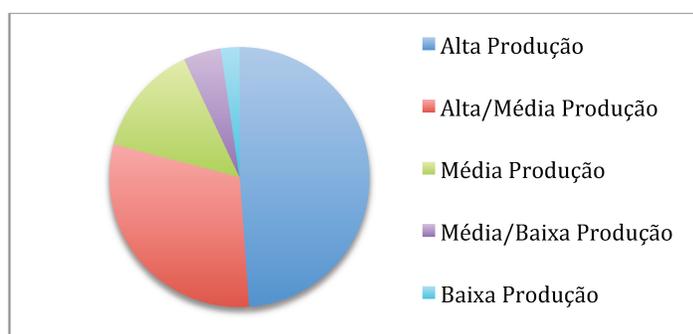


Figura 83: Produção em larga escala na área Aeroespacial

Mais uma vez, observando a Figura 83, fica evidente que a maioria dos respondentes estão crentes em que a produção em larga escala ficará entre alta e alta/média produção, sendo que 49% supõem que será uma alta produção, 30%

alta/média, 14% acreditam em uma média produção, 5% em média/baixa e 2% em baixa produção em larga escala.

Por fim, a produção em outras áreas também foi cogitada, como mostra a Figura 84:

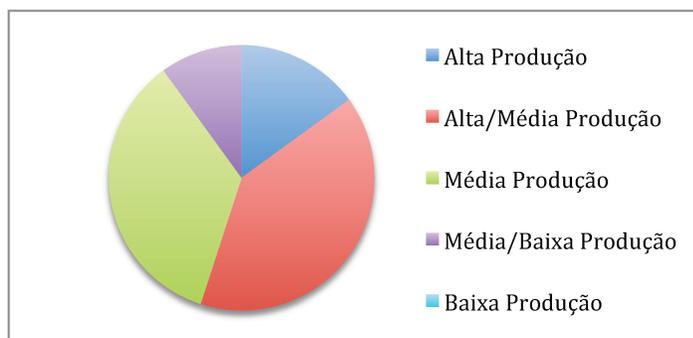


Figura 84: Produção em larga escala em outras áreas.

Considerou-se que outras áreas estarão entre uma alta/média e média produção em larga escala, sendo que apenas 15% acreditam em uma alta produção, 40% alta/média, 35% creem em média produção e apenas 10% acham que será média/baixa, sendo interessante ressaltar que não houve opiniões acreditando em uma baixa produção.

Buscou-se saber a opinião dos respondentes quanto aos danos à saúde caso haja um manuseio inadequado, sendo a escala de alto risco a nenhum risco à saúde, na questão vinte. Observa-se pela Figura 85, que as respostas divergiram: 40% considera-o alto risco à saúde, 36% médio risco, 20% baixo risco e somente 4% acreditam que não haverá risco à saúde. A divergência talvez se deva a uma certa incógnita e à pouca evidencia que possa ocorrer em matéria de danos.

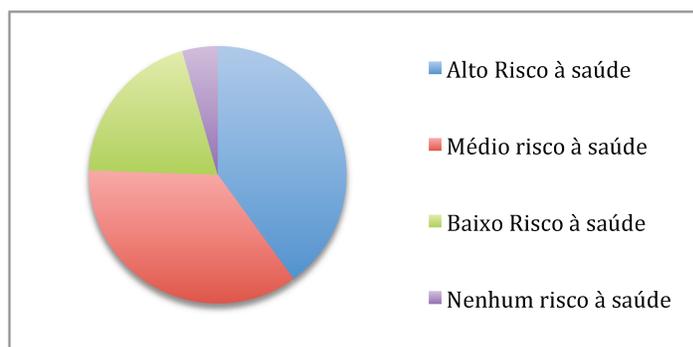


Figura 85: Danos à saúde por manuseio inadequado.

Foi formulada uma questão em que os respondentes puderam opinar sobre se a disseminação da nanotecnologia causará mudanças no comportamento da sociedade. A questão 21 obteve 50% de respostas dizendo que haverá grandes mudanças, 32% acreditam que não, 4% dizem que talvez ocorram e 14% preferiram não responder. É o que está representado na Figura 86:

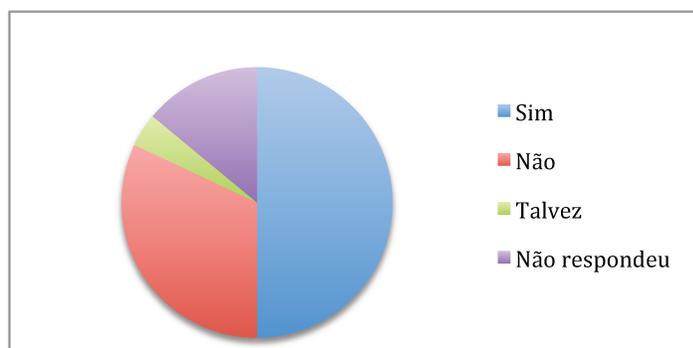


Figura 86: Mudança no comportamento da sociedade.

A última questão foi sobre a aceitabilidade desta nova tecnologia em materiais poliméricos, mundialmente falando. Analisando a Figura 87, nenhum dos respondentes

acreditam que não haverá aceitação, somente 4% acredita em uma baixa aceitação, 39% em média aceitação e a maioria, com 57% acredita em uma alta aceitação.

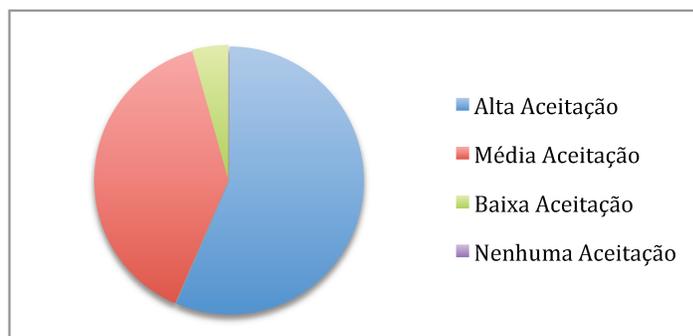


Figura 87: Aceitação da nanotecnologia.

5. CONCLUSÕES

Ao analisar as respostas recebidas neste trabalho é possível chegar a conclusões importantes. Começaremos por reportar-nos a aspectos gerais, passado a seguir às conclusões sobre questões específicas.

A primeira observação a fazer é que as respostas às questões acabaram refletindo mais o ponto de vista acadêmico, já que os respondentes, em sua maioria, pertenciam a órgãos de pesquisa, embora o banco de dados fosse constituído por um número razoável de especialistas pertencentes ao ramo industrial.

O nível de conhecimento dos participantes também influenciou as respostas, sendo na sua maioria conhecedores do assunto e mais qualificados para observar e desenhar cenários sobre mudanças possíveis e prováveis, quanto o tema escolhido aqui.

No que concerne aos dados recolhidos é de apontar os seguintes aspectos:

- A importância conferida aos investimentos em pesquisas na nanotecnologia, considerada de grande relevância para seu desenvolvimento e aplicações no futuro;
- O realce concedido ao investimento, principalmente na Indústria, tendo em vista que este será o setor que colocará a nanotecnologia em materiais poliméricos na sociedade;
- A extrema importância dada a pesquisas voltadas para nanomateriais poliméricos, tornando possível melhorias em suas propriedades, tornando-os mais eficientes;

- Quanto à utilização dos materiais poliméricos, ficou claro que os termoplásticos serão os mais utilizados, levando em conta a maior facilidade de manuseá-lo, seguido pelos compósitos, pelas blendas e por fim pelos termorrígidos;
- Sobre a substituição dos materiais convencionais pelos nanomateriais poliméricos, foi possível concluir que o cenário se delinea é o de alta utilização principalmente na Medicina, seguida pela Química, Engenharias e área Aeroespacial, Física, Industria, Biologia e Agricultura;
- Com a substituição dos materiais convencionais temos um cenário em que a diminuição do impacto ambiental será relevante, mas por não ser possível quantificar os riscos da nanotecnologia, não houve tantas opiniões creditando a uma alta utilização dos novos materiais a diminuição dos impactos ambientais, ainda assim, a área que quantitativamente se realça no crédito concedido à maior diminuição desses impactos é a Industria, seguida pela Química, área Aeroespacial, Agricultura, Biologia, Física, Medicina e Engenharias e por fim outras áreas não citadas;
- O salto tecnológico que ocorrerá com o desenvolvimento de materiais poliméricos nanoestruturados é estimado de alta relevância tendo em vista que ocasionará grandes mudanças na sociedade, sendo na parte de conforto, ou na área de saúde;
- Em relação as dificuldades a serem enfrentadas durante o desenvolvimento da nanotecnologia em materiais poliméricos, as mais citadas foram os recursos financeiros, a produção em larga escala, o meio ambiente e a saúde e, por fim, o treinamento de profissionais para esta nova área;

- A disseminação da nanotecnologia não ficou clara para os respondentes, pois ainda não é possível determinar um prazo para o seu pleno conhecimento, porém uma boa porcentagem acredita que a nanotecnologia será difundida nos setores acadêmicos, governamentais e industriais num prazo de 10 a 20 anos;
- Quanto às possíveis melhorias nas propriedades dos materiais poliméricos na área de exatas, conclui-se que será da maior importância a melhoria nas propriedades físicas, principalmente as que dizem respeito à resistência ao impacto, à estabilidade dimensional e à permanência das propriedades em temperaturas elevadas;
- Em relação as possíveis melhorias nas propriedades dos materiais poliméricos na área biológica, consideradas as respostas obtidas, pode-se afirmar que serão da maior importância nesta área as *Drug Delivery*, seguida pela Biocompatibilidade, Diagnósticos Clínicos, Biomarcadores e Terapias Regenerativas Autógenas;
- Os principais obstáculos à evolução da nanotecnologia em materiais poliméricos, segundo os participantes da pesquisa, são primeiramente a capacidade produtiva, depois a definição e produção a nível laboratorial da matéria-prima, as patentes, os custos energéticos e por fim a disponibilidade de matéria-prima no mercado;
- Para os respondentes desta pesquisa ficou claro que os principais impactos causados pela nanotecnologia em materiais poliméricos serão, primeiramente, econômicos, seguidos pelos industriais, acadêmicos, sociais e por fim, políticos;

- Pode-se concluir que a relevância destes novos materiais será maior na área Aeroespacial, seguida em grau descendente pelas Engenharias, Física, Química, Medicina, Informática, Biologia e Agricultura;
- Tornou-se evidente a necessidade de desenvolver equipamentos de processamento em escala nanométrica para processar materiais em larga escala;
- Desenhou-se um cenário em que a necessidade de formação de mão-de-obra qualificada para manusear esses novos equipamentos é prioritária;
- Segundo os participantes desta pesquisa é possível dizer que haverá alta produção em larga escala, principalmente nas Engenharias, Medicina, Química e no campo Aeroespacial, seguidos pela Física, Informática, Biologia;
- Por ser uma tecnologia nova, ficou evidente que existe grande preocupação com o possível impacto na saúde, sobretudo em função de um manuseio inadequado; assim, a nanotecnologia utilizada de forma inadequada remete a um cenário de alto a médio risco à saúde.
- É possível afirmar que a disseminação da nanotecnologia criará um cenário de grandes mudanças sociais e projeta um cenário de alta aceitabilidade desta nova tecnologia no futuro.

6. TRABALHOS FUTUROS

Verificou-se que seria interessante pesquisar sobre a evolução da nanotecnologia para cada determinado tipo de polímero, termoplásticos e termorrígidos, com ênfase nos termoplásticos.

Sobre a produção industrial seria relevante uma pesquisa sobre o desenvolvimento de máquinas de processamento de nanomateriais.

Interessante também pesquisar sobre os riscos à saúde do ser humano com o contato direto com nanomateriais.

Notou-se a importância nas pesquisas e aplicações dos materiais poliméricos nas áreas médicas, principalmente em *Drug Delivery*, biocompatibilidade e terapias regenerativas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJAYAN, M. P., SCHADLER, L. S., BRAUN, P., V. **Nanocomposite science and Technology**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, 2003.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: Questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 965 p.

CANEVAROLO JUNIOR, S. V. **Ciência dos polímeros**: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2. Ed. São Paulo: Artliber, 2006. 280 p.

CARDOSO, L. R. A.; et al. Prospecção de futuro e Método Delphi: uma aplicação para a cadeia produtiva da construção habitacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 63-38, 2005.

CARVALHO, R. V. C. de. **Previsão Tecnológica a médio-longo prazo sobre evoluções das propriedades e de mercado dos polímeros de engenharia**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Química, Departamento de Tecnologia de Polímeros, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

DIAS, P.M. **Um Modelo de Sistema Informatizado Delphi para Suporte à Previsão**. UFSC, Santa Catarina. Disponível em : http://www.peteps.ufsc.br/novo/attachments/079_Modelos%20Previsao.pdf Acesso em: 10/08/2011.

DREJER, A., RIIS, J. O. Competence development and technology – how learning and technology can be meaningfully integrated. **Technovation**. Denmark: v.19, n.10. p.631-644. 1999.

DURÁN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C. **Nanotecnologia: Introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação**. São Paulo: Artliber, 2006. 208 p.

FERREIRA, C. I., **Nanocompósitos PP/Grafite: Obtenção e propriedades**. 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

FEYNMAN, R. There's plenty of room at the bottom (reprint from speech given at annual meeting of the American Physical Society). **Engineering Science**. v. 23, p. 22-36, 1960.

FIATES, J. E. A. **Geração de Riqueza por meio de Ciência, Tecnologia e Inovação**. Conferência Nacional de CTI, 2005. Disponível em: www.cgee.org.br/atividades/redirect.php?idProduto=2185 Acesso em: 15/02/2012.

FREITAS, C. A., **Nanocompósitos poliméricos de Poli (Tereftalato de**

butileno) –PBT. 2010. 179 f. Tese (Doutorado) –Curso de Engenharia de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

GAVIGAN; J. P. SCAPOLO, F. A Comparison of national foresight exercises. **Foresight**, Seville, v.01, n.06, p. 495 – 417, 1999.

GEORGHIOUS, L.; et al. **The Handbook of Technology Foresight – Concepts and Practice.** Northampton: Edward Elgar Publishing Limited, 2008. 433 p.

GODET, M. **From anticipation to action - A handbook of stratégie prospective.** UNESCO Publishing, 1994. 283 p.

GONÇALVES, F. **Excel Avançado 2003/2007 – Forecast – Análise e Previsão de Demanda.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2007. 392 p.

GORDON, T.J., HELMER, O. **Report in a long range forecasting study.** Santa Monica, Califórnia, The RAND Corporation, September 1964. (Relatório Interno P - 2982)

GRAHAM, B., REGEHR, G., WRIGHT, J. G., Delphi as a method to establish consensus for diagnostic criteria. **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 56, n.12, p. 1150 – 1156, 2003.

GUPTA, U.; CLARKE, R. E. Theory and Applications of the Delphi Technique: A Bibliography (1975-1994). **Technological Forecasting and Social Change**, v.53, n. 2, p. 185-211, 1996.

HANKE, E.J.; REITSH, A.G.; WICHERN, D. W. – **Business Forecasting**. 7. Ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. 498 p.

JANTSCH, E. **Technological Forecasting in Perspective A framework for Technological Forecasting, its Techniques and Organization**. Organization for economic co-operation and development, 1967. 401 p.

LANDETA, J. Current validity of the Delphi method in social sciences. **Technological Forecasting and Social Change**. v. 73, n. 5,p. 467-482, 2006.

MAKRIDAKIS, S.; WHEEL WRIGTH, S.; HYNDMAN, R.J. **Forecasting Methods and Applications**. 3. Ed. New York: John Wiley & Sons. 3 Ed., 1998. 642 p.

MILES, I.; KEENAN, M.; KAIVO-OJA, J. **Handbook of knowledge society foresight**. Prepared by PREST and FFRC for the European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. 2002.166 p.

MOON, M.A.; MENTZER J.T; SMITH, C.D. Conducting a sales forecasting audit. **International Journal of Forecasting**. v. 19, n. 1, p. 5-25. 2003.

ODIAN, G. **Principles of polymerization**. 4. Ed. New York: John Wiley & Sons, 2004. 812 p.

OKOLI, C., PAWLOWSKI, S. D. The Delphi method as a research tool: an example design considerations and applications. **Information & Management**. v.42, p.15-19, 2004.

PAUL, D.R.; ROBESON, L.M. Polymer nanotechnology: Nanocomposites. **Polymer**. v.29, n. 15, p. 3187-3204, 2008.

PEREZ, V. L., SCHÜLER, R. The Delphi Method as a tool for Information requirements Specification. **Information & Management**. v. 5, n.3 p. 157-167, 1982.

PORTER, A. L., et al. Technology futures analysis: toward integration of the field and new methods. **Technological Forecasting & Technological Forecasting & Social Change** v.71, p. 287–303, 2004.

RIBEIRO, M. A. M. **Contribuição ao estudo do impacto ambiental das pilhas a combustível de baixa e média temperatura através da metodologia Delphi.** 2009. Tese (Doutorado) – Instituto de pesquisas energéticas e nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ROWE, G.; WRIGHT, G. The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. **International Journal of Forecasting** v.15, p. 353-375, 1999.

SANTOS, M. M., et al. Prospecção do futuro: métodos, técnicas e abordagens. **Parcerias Estratégicas**, v. 9, n.19, p. 189 – 229, 2004.

SANT'ANA, P. H. **Análise prospectiva de tecnologias de energia: validação e análise de uma consulta Delphi com especialistas no Brasil.** 2005. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2005.

SCHULZ, P. **A encruzilhada da nanotecnologia: inovação, tecnologia e riscos.** Rio de Janeiro: Vieira & Lent. 2009. 125 p.

TANIGUCHI, N. Current status in, and future trends of, ultraprecision machining and ultrafine materials processing. **CIRP Annals – Manufacturing Technology**, v.32, n.2, p. 573 - 582, 1983.

WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A. Delphi – uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Caderno de pesquisa e administração**, v.1, n.12, p. 54 – 65, 2000.

8. ANEXOS

8.1 ANEXO A - SUBMISSÃO DAS QUESTÕES

Subject: Graduate student from the State University of Campinas (UNICAMP)

Dear Sir / Madam,

My name is Carla Carolina Caliani Franchini de Almeida, I am a Graduate student at the Faculty of Chemical Engineering (FEQ) at the State University of Campinas (UNICAMP) and I am developing a work on medium- and long-term Technological Prospection on the developments and applications of nanotechnology in polymeric materials under the supervision of Professor Doctor Wagner dos Santos Oliveira*. I use the DELPHI methodology of Technological Forecasting to develop my work and I would like to ask you to kindly collaborate by answering to a small questionnaire (attached) containing 22 questions. You will spend no more than 10 to 15 minutes to fill in the questionnaire, the results of which will be shared with all the participants. All your answers will be treated as confidential and shall be used solely for statistical and academic purposes.

Your participation is voluntary, anonymous and there are no risks associated with this work. If at any time you feel uncomfortable about a particular question, please feel free not to answer it.

If you would like any further information about this work, please contact me by e-mail: carlaccfa@feq.unicamp.br or phone (+55) (11) 8219-1862 - Carla Carolina Caliani Franchini de Almeida

Thank you for your participation, your opinion will be of great importance!

To get started, please click on *Continue below*.

* oliveira@feq.unicamp.br

If it is convenient for you, please inform your name and e-mail for future contact.

The information you provide us will not be published and will be kept confidential as it is for control purposes only.

Thank you.

Name

E-mail

1. Mark the option that best describes your experience:

- A. Academic Research
- B. Industrial development and research
- C. Strategy for research and technology
- D. Production/ Operation
- E. Consulting
- F. Public agent/ politicians

2. In this question, mark your knowledge level of nanotechnology in polymeric materials:

- A. Expert: you are part of a group of people who are currently profoundly dedicated to this matter.

B. Knowledgeable: you are becoming an expert, but you still lack some experience in the field.

C. Not familiarized.

3. Is there a need for further investment in the development and application of nanotechnology in polymeric materials?

A. Yes

B. No

Comments:

4. Which segment would invest more in nano-composite research:

A. Industry

B. Government

C. Academia

D. Military

Comments:

5. Mark the alternative that expresses your opinion about the importance of research related to nanotechnology in polymeric materials:

A. Very important

B. Important

C. Little Importance

D. Irrelevant

Comments:

6. Considering the advancement that nanotechnology for polymeric materials has reached up to present, what are your expectations regarding the increase in utilization of these materials in 20 years:

	Very High Utilization	High/Medium Utilization	Medium Utilization	Medium/Low Utilization	Low Utilization
Thermoplastics					
Thermorigids					
Blende					

Comments:

7. Consider the development of nanotechnology and the discovery of new polymeric materials. What are your expectations concerning the replacement of conventional materials by nanocomposites?

	Very High Utilization	High / Medium Utilization	Medium Utilization	Medium / Low Utilization	Low Utilization
Agriculture					
Physics					
Engineering					
Medicine					
Biology					
Chemistry					
Industry					
Aero-space					
Other					

Comments:

8. What are your expectations concerning the decrease in environmental impact through replacement of conventional materials by nano-structured polymeric materials, over a 30-year period?

	Very High Utilization	High/ Medium Utilization	Medium Utilization	Medium/ Low Utilization	Low Utilization
Agriculture					
Physics					
Engineering					
Medicine					
Biology					
Chemistry					
Industry					
Aero-space					
Others					

Comments:

9. In your opinion, what will be the relevance of the technological leap in development of nano-structured polymeric materials?

- A. High Relevance
- B. High/Medium Relevance
- C. Medium Relevance
- D. Medium/Low Relevance
- E. Low Relevance

10. Which difficulties faced at present in the development of nanotechnology in polymeric materials will interfere in 30 years?

11. How long do you believe it will take for nanotechnology to be widespread in all academic, industrial and government sectors:

- A. 10 years
- B. 15 years
- C. 20 years
- D. 25 years
- E. 30 years or more

12. In the field of Exact Sciences, which properties do you believe are more prone to enhancement? Grade the properties below on a scale of 1 to 5, 1 being least prone and 5 being most prone:

	1	2	3	4	5
Permanence of properties under high temperature					
Impact Resistance					
Dimensional Stability					
Improvement of own physical properties					
Other					

Comments:

13. In the biological field, which properties do you consider more prone to enhancement? Grade the properties below on a scale of 1 to 5, 1 being least prone and 5 being most prone:

	1	2	3	4	5
Bio-compatibility					
Drug Delivery					

Clinical Diagnosis					
Biomarkers					
Autologous Regenerative Therapies					
Other					

Comments:

14. What are the main obstacles to the evolution of nanotechnology applied to polymers? Grade on a scale of 1 to 5, 1 being lower impact and 5 being higher impact:

	1	2	3	4	5
Raw material prices					
Patents					
Energetic costs					
Productive Capacity Limitations					
Raw Material Availability					
Other					

Comments:

15. What are the main impacts of the evolution of nanotechnology in polymeric materials? Grade on a scale of 1 to 5, 1 being lower impact and 5 being higher impact:

	1	2	3	4	5
Social					
Economical					
Industrial					
Academic					
Political					
Other					

Comments:

16. What is the relevance of nano-structured polymeric materials for the segments below:

Segments	Essential	Very relevant	Relevant	Little relevant	Irrelevant
Agriculture					
Medicine					
Engineering					
Chemistry					
Physics					
Information Technology					
Biology					
Aero-space					
Other					

Comments:

17. What is the relevance of developing new equipment for the range of nano-structured polymeric

materials?

- A. Essential
- B. Very Relevant
- C. Relevant
- D. Little Relevant
- E. Irrelevant

Comments:

18. What is the relevance of developing trained professionals capable of handling the **characterization equipment** of polymeric nanocomposites?

- A. Essential
- B. Very Relevant
- C. Relevant
- D. Little Relevant
- E. Irrelevant

Comments:

19. Which segments will produce more nanocomposites in large scale in the next 20 to 30 years?

Segments	Essential	Very relevant	Relevant	Little relevant	Irrelevant
Agriculture					
Medicine					
Engineering					
Chemistry					
Physics					
Information Technology					
Biology					
Aero-space					
Other					

Comments:

20. What is the risk of health damage that nanotechnology in polymers may cause to humans if not properly handled?

- A. High risk to health
- B. Medium risk to health
- C. Low risk to health
- D. No risk to health

Comments:

21. Will the dissemination of nanotechnology in its general aspects cause drastic changes in the behavior of society as a whole?

22. What will be the degree of acceptance of nanocomposites by the global society?

- A. High Acceptance
- B. Medium Acceptance
- C. Low Acceptance
- D. No Acceptance

Comments:

8.2. ANEXO B – QUESTIONÁRIO COM DADOS TABULADOS E TRATADOS.

Questionnaire with tabulated and treated data.

Questionnaire about: The development and the application of nanotechnology in polymeric materials

IMPORTANT: All the questions refer to the INTERNATIONAL scenery.

The objective of this study is to identify the development and the application of the nanotechnology of polymeric materials, considering a medium / long term future. I am sending you the results obtained in the Questionnaire V.01 and concerning the data obtained, if you want to modify your answer, which refers to the previous questionnaire, please send me your new answer within two weeks. I thank you for your collaboration.

1. Mark the option that best describes your experience:

- A. Academic Research = 92%
- B. Industrial development and research = 6%
- C. Strategy for research and technology = 1%
- D. Production/ Operation = 1%
- E. Consulting
- F. Public agent/ politicians

2. In this question, mark your knowledge level of nanotechnology in polymeric materials:
 - A. Expert: you are part of a group of people who are currently profoundly dedicated to this matter. = 32%
 - B. Knowledgeable: you are becoming an expert, but you still lack some experience in the field. = 56%
 - C. Not familiarized. = 12%

3. Is there a need for further investment in the development and application of nanotechnology in polymeric materials?
 - A. Yes = 99%
 - B. No = 1%

4. Which segment would invest more in nano-composite research:
 - A. Industry = 69%
 - B. Government = 16%
 - C. Academia = 10%
 - D. Military = 5%

5. Which alternative represents your opinion about the importance of the nanotechnology in polymeric materials research?
 - A. Very important = 71%
 - B. Important = 29%
 - C. Of little importance

D. Irrelevant

6. Considering the advancement that nanotechnology for polymeric materials has reached up to present, what are your expectations regarding the increase in utilization of these materials in 20 years:

	Very High Utilization	High/ Medium Utilization	Medium Utilization	Medium / Low Utilization	Low Utilization
Thermoplastics	50%	30%	11%	9%	-
Thermorigids	24%	38%	32%	6%	-
Blende	43%	31%	19%	7%	-

OBSERVATION: IN THIS QUESTIONNAIRE'S VERSION IT WAS ADDED A REQUEST FOR INFORMATION ABOUT COMPOSITES:

	Very high Utilization	High/ Medium Utilization	Medium Utilization	Medium /Low Utilization	Low Utilization
Composites					

7. Consider the nanotechnology development and as a consequence the discovery of news polymeric materials. Which knowledge field do you think that there will be a significant substitution of the conventional materials by the nanocomposites?

	Very High Utilization	High / Medium Utilization	Medium Utilization	Medium / Low Utilization	Low Utilization
Agriculture	24%	20%	30%	14%	12%
Physics	55%	20%	17%	6%	2%
Engineering	57%	28%	9%	6%	-
Medicine	64%	21%	9%	6%	-
Biology	42%	29%	17%	4%	8%
Chemistry	58%	24%	10%	2%	6%
Industry	46%	27%	21%	6%	-
Aero-space	57%	21%	12%	10%	-
Others	16%	36%	36%	4%	8%

8. What are your expectations concerning the decrease in environmental impact through replacement of conventional materials by nano-structured polymeric materials, over a 30-year period?

	Very High Utilization	High / Medium Utilization	Medium Utilization	Medium / Low Utilization	Low Utilization
Agriculture	37%	21%	14%	14%	14%
Physics	35%	23%	16%	12%	14%
Engineering	34%	30%	16%	11%	9%
Medicine	35%	33%	14%	7%	12%

Biology	36%	24%	12%	16%	12%
Chemistry	39%	29%	13%	7%	12%
Industry	43%	21%	17%	12%	7%
Aero-space	35%	26%	7%	17%	12%
Others	17%	22%	22%	22%	17%

9. In your opinion, what will be the relevance of the technological leap in development of nano-structured polymeric materials?

- A. High Relevance = 51%
- B. High/Medium Relevance = 37%
- C. Medium Relevance 8%
- D. Medium/Low Relevance 4%
- E. Low Relevance

10. What are the actual difficulties that can interfere in the development of the nanotechnology in polymeric materials considering a future of 30 years?

Financial resources = 26%

Large scale = 16%

Environment and health= 9%

Trained professionals = 8%

Others = 13%

Doesn't know = 9%

Didn't answer = 19%

11. How long do you believe it will take for nanotechnology to be widespread in academic, industrial and government sectors?

- A. 10 years = 34%
- B. 15 years = 18%
- C. 20 years = 28%
- D. 25 years = 6%
- E. 30 years or more = 14%

12. In the field of Exact Sciences, which properties do you consider the most likely to be improved? Rank from 1 to 5, being 1 the least propense and 5 the most propense.

	1	2	3	4	5
Permanence of properties under high temperature	9%	7%	28%	23%	33%
Impact Resistance	9%	7%	33%	16%	35%
Dimensional Stability	2%	15%	20%	30%	33%
Improvement of own physical properties	3%	11%	18%	23%	45%
Other	12%	14%	44%	20%	20%

13. In the fields of biological and medical sciences, which properties do you consider the most likely to be improved? Rank from 1 to 5, being 1 the least propense and 5 the most propense.

	1	2	3	4	5
Bio-compatibility	-	17%	10%	30%	43%
Drug Delivery	4%	4%	7%	19%	63%
Clinical Diagnosis	2%	8%	20%	33%	37%

Biomarkers	4%	10%	22%	27%	37%
Autologous Regenerative Therapies	5%	7%	17%	37%	24%
Other	5%	11%	5%	58%	21%

14. Which are the main obstacles to the evolution of the nanotechnology applied to polymers? Rank from 1 to 5, being 1 the least impacting and 5 the most impacting.

	1	2	3	4	5
Raw material prices	11%	22%	24%	21%	22%
Patents	11%	20%	24%	27%	18%
Energetic costs	16%	11%	36%	24%	16%
Productive Capacity Limitations	7%	13%	9%	41%	30%
Raw Material Availability	16%	11%	18%	42%	13%
Other	5%	-	42%	28%	15%

15. What are the main impacts of the evolution of nanotechnology in polymeric materials? Grade on a scale of 1 to 5, 1 being lower impact and 5 being higher impact:

	1	2	3	4	5
Social	16%	20%	28%	20%	16%
Economical	7%	-	11%	44%	28%
Industrial	4%	4%	11%	42%	39%
Academic	4%	4%	16%	47%	29%

Political	5%	16%	28%	30%	21%
Other	5%	10%	60%	15%	10%

16. What is the relevance of nano-structured polymeric materials for the segments below:

Segments	Essential	Very relevant	Relevant	Little relevant	Irrelevant
Agriculture	13%	35%	32%	9%	11%
Medicine	42%	44%	7%	7%	-
Engineering	45%	43%	11%	1%	-
Chemistry	44%	38%	9%	9%	-
Physics	45%	34%	17%	4%	-
Information Technology	36%	33%	20%	11%	-
Biology	30%	39%	23%	7%	1%
Aero-space	52%	27%	14%	7%	-
Other	19%	24%	57%	-	-

17. What is the relevance of developing

new equipment for the range of nano-structured polymeric materials?

- A. Essential = 57%
- B. Very Relevant = 26%
- C. Relevant = 17%
- D. Little Relevant

E. Irrelevant

18. What is the relevance of training capable professionals to handle the **equipments / characterization instruments** of polymeric nanocomposites?

- A. Essential = 62%
- B. Very Relevant = 30%
- C. Relevant = 6%
- D. Little Relevant = 2%
- E. Irrelevant

19. Which knowledge fields will produce nanocomposites in large scale, considering a period of 20 to 30 years?

Segments	High Production	High/Medium Production	Medium Production	Medium/Low Production	Low Production
Agriculture	20%	34%	16%	16%	14%
Medicine	52%	34%	2%	7%	5%
Engineering	57%	33%	10%	-	-
Chemistry	50%	30%	11%	-	9%
Physics	42%	35%	9%	7%	7%
Information Technology	42%	32%	12%	12%	2%
Biology	36%	29%	14%	14%	7%

Aero-space	49%	30%	14%	5%	2%
Other	15%	40%	35%	10%	-

20. What is the risk of health damage that nanotechnology in polymers may cause to humans if not properly handled?

- A. High risk to health = 40%
- B. Medium risk to health = 36%
- C. Low risk to health = 20%
- D. No risk to health = 4%

21. Will the dissemination of nanotechnology in its general aspects cause drastic changes in the behavior of society as a whole?

- Yes = 50%
- No = 32%
- Maybe = 4%
- Didn't answer= 14%

22. Which will be the nanocomposites acceptability dimension by the world society?

- A. High Acceptance = 57%
- B. Medium Acceptance = 39%
- C. Low Acceptance = 4%
- D. No Acceptance