

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

ALEXANDRE PINHEL SOARES

NANOTECNOLOGIA NO SETOR ELÉTRICO: UM ESTUDO PROSPECTIVO

Rio de Janeiro

2014

ALEXANDRE PINHEL SOARES

NANOTECNOLOGIA NO SETOR ELÉTRICO: UM ESTUDO PROSPECTIVO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Inovação, da Coordenação de Programas de Pós-Graduação e Pesquisa, Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Propriedade Intelectual e Inovação

Orientador: Adelaide Maria de Souza Antunes, D. Sc.

Rio de Janeiro

2014

S676 Soares, Alexandre Pinhel

Nanotecnologia no setor elétrico: um estudo prospectivo / Alexandre Pinhel Soares- - 2014.
95 f.

Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Inovação) — Academia de Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento, Coordenação de Programas de Pós-Graduação e Pesquisa, Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, Rio de Janeiro, 2014.

Orientadora: Dra. Adelaide Maria de Souza Antunes

1. Setor elétrico. 2. Nanotecnologia. 3. Prospecção. 4. Patentes. 5. Propriedade industrial. I. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Brasil).

CDU: 621.039

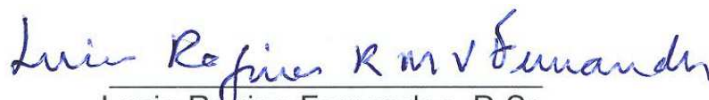
ALEXANDRE PINHEL SOARES

NANOTECNOLOGIA NO SETOR ELÉTRICO: UM ESTUDO PROSPECTIVO

Rio de Janeiro, 24 de março de 2014.



Adelaide Maria de Souza Antunes, D.Sc.
Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI



Lucia Regina Fernandes, D.Sc.
Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI

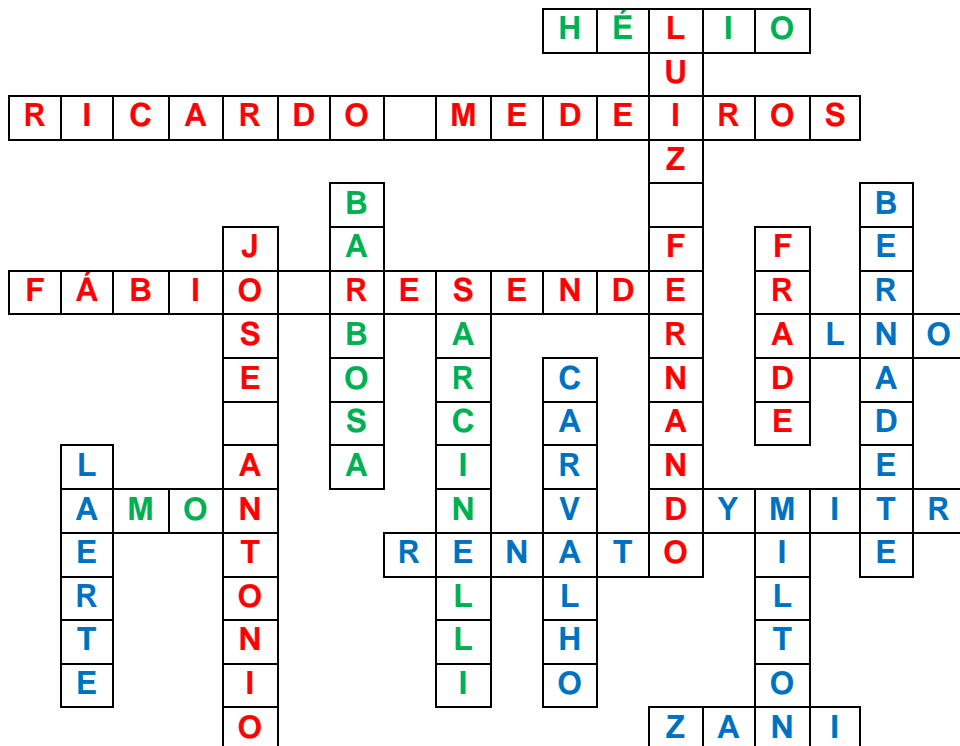


Maria Simone de Menezes Alencar, D.Sc.
Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ

A George Westinghouse, pelos motivos que serão vistos adiante.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho deve muito à magistral orientação da Adelaide e ao inestimável apoio da equipe do SIQUIM – Sistema de Informação sobre a Indústria Química. Mas essa história é antiga, já se vão 20 anos. E seus fundamentos tem origem nos incentivos que recebi no profícuo ambiente do setor elétrico brasileiro, em especial em Furnas e no Cigré. Como é natural em toda história, alguns personagens acabaram se destacando mais. São eles:



Ninguém tem total certeza do que pensa sobre um determinado assunto até que tenha colocado seus pensamentos no papel¹.

Stephen King

1. Quando um reconhecido, porém idoso cientista declara que algo é possível, ele deve estar certo; quando ele declara que algo é impossível, é muito provável que esteja errado.
2. A única forma de descobrir os limites do possível é se aventurar um pouco no impossível
3. Qualquer tecnologia suficientemente avançada é indistinguível da magia

Essas são as três leis (do futuro) de Arthur C. Clarke²

¹ No original em inglês: No one is exactly sure of what they mean on any given subject until they have written their thoughts down. Do livro *Danse Macabre*.

² Idéias presentes no livro *Profiles of the Future* (CLARKE, 1985). Esse livro foi originalmente publicado em 1962 com ensaios do período 1959-1961. Foi revisado em 1973. No original em inglês: 1) *When a distinguished but elderly scientist states that something is possible, he is almost certainly right; when he states something is impossible, he is very probably wrong;* 2) *The only way of discovering the limits of the possible is to venture a little way past them into the impossible;* 3) *Any sufficiently advanced technology is indistinguishable from magic.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição percentual das fontes de energia elétrica no mundo.....	43
Figura 2: Evolução recente das fontes de energia elétrica no mundo.....	43
Figura 3: Crescimento da população mundial.....	49
Figura 4: Evolução do consumo de eletricidade no mundo.....	50
Figura 5: Projeção conservadora das fontes de energia elétrica no mundo.....	50
Figura 6: Projeção não conservadora das fontes de energia elétrica no mundo..	51
Figura 7: Quantidade de artigos sobre nanotecnologia e nanociência.....	56
Figura 8: Quantidade de patentes concedidas em nanotecnologia.....	56
Figura 9: Diagrama esquemático da metodologia desenvolvida.....	68
Figura 10: Quantidade de depósitos sobre aplicação de nanotecnologia em fontes e sistemas de armazenamento de energia elétrica.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Eventos mais relevantes no processo de eletrificação.....	41
Tabela 2: Seções da Classificação Internacional de Patentes (CIP).....	61
Tabela 3: Seções do sistema de classificação de patentes da base <i>Derwent</i>	64
Tabela 4: Equipamentos principais do Sistema Elétrico de Potência (SEP).....	65
Tabela 5: Temas de maior interesse do Setor Elétrico.....	65
Tabela 6: Resultado da aplicação da metodologia na seleção da amostra.....	69
Tabela 7: Distribuição das depósitos na amostra selecionada.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos.
AC	<i>Alternate Current</i>
AIEE	<i>American Institute of Electrical Engineers</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANPEI	Associação Nacional de P&D das Empresas Inovadoras.
CIGRÉ	<i>International Council on Large Electrical Systems</i>
CIP	Classificação Internacional de Patentes
DC	<i>Direct Current</i>
<i>Derwent</i>	<i>Derwent Innovations Index</i>
EUA	Estados Unidos da América
Eletrobrás	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
<i>EPO</i>	<i>European Patent Office</i>
Furnas	Furnas Centrais Elétricas
HVDC	<i>High Voltage Direct Current</i>
<i>IEEE</i>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
<i>JPO</i>	<i>Japan Patent Office</i>
OEEC	<i>Organisation for European Economic Co-operation</i>
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
P&D	Pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico
PEM	<i>Proton Exchange Membrane</i>
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SOFC	<i>Solid Oxide Fuel Cells</i>
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
TI	Tecnologia da Informação
<i>USPTO</i>	<i>United States Patent and Trademark Office</i>
VE	Veículo Elétrico
WIPO	World Intellectual Property Organization

RESUMO

PINHEL SOARES, Alexandre. **Nanotecnologia no setor elétrico**: um estudo prospectivo. Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Inovação) - Coordenação de Pesquisa e Educação em Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento - Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, Rio de Janeiro, 2014.

A vida cotidiana contemporânea está repleta de ações banais que resolvem grandes problemas. É simples acender uma lâmpada, ligar uma televisão ou utilizar um elevador. Mas por trás desses atos há uma intrincada cadeia de eventos onde inúmeros equipamentos funcionam sem interrupções executando complexos processos para que a eletricidade esteja sempre disponível. Um aspecto curioso dessa realidade é que ela ainda se baseia em conceitos estabelecidos no final do século XIX, i.e., o progresso do Setor Elétrico tem sido lento e fundamentalmente incremental, sem rupturas. Esse comportamento evolutivo poderia ser tolerado indefinidamente, não fossem a tendência de concentração da população mundial em grandes centros urbanos e o aumento exponencial da demanda de eletricidade. Essa conjuntura fará com que os blocos de energia a serem transportados das fontes distantes até os centros consumidores sejam cada vez maiores, levando o modelo ao limite, com risco de colapso. Já a nanotecnologia tem se apresentado como um movimento tecnológico que promete rupturas onde quer que se insira. Fala-se sobre uma nova revolução, maior até que a da eletrônica. O volume de patentes está crescendo em um ritmo que supera todos os outros grandes movimentos tecnológicos, inclusive o da química e o da eletricidade. Cabe então a pergunta: Como a nanotecnologia afetará o Setor Elétrico? No Brasil as iniciativas tanto governamentais quanto empresariais têm sido direcionadas à saúde (fármacos, alimentos, cosméticos e métodos terapêuticos) e a novos materiais de uso geral. Esse trabalho pretende contribuir com a redução dessa lacuna de conhecimento. Para tanto foram investigados, de forma prospectiva, os temas que se relacionam com a pergunta anteriormente enunciada. Mais especificamente procurou-se detectar tendências de avanços que podem ter aplicação na melhoria de projetos e de técnicas de manutenção em sistemas relacionados com geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Os dados utilizados foram obtidos de documentos de patente. Foi desenvolvida uma estratégia de busca que, ao ser aplicada, resultou na seleção de 1415 documentos. O estudo desse material forneceu um panorama de possibilidades de uso da nanotecnologia no Setor Elétrico. Concluiu-se que há boa perspectiva de melhorias nas máquinas e equipamentos elétricos tradicionalmente utilizados. Concluiu-se também que a nanotecnologia poderá ser decisiva no desenvolvimento de sistemas que tornarão economicamente viável a geração distribuída de energia elétrica, modelo disruptivo que tem possibilidade de vir a atenuar os problemas futuros do Setor Elétrico.

Palavras-chave: Setor Elétrico, Eletrificação, Nanotecnologia, Prospecção.

ABSTRACT

PINHEL SOARES, Alexandre. **Nanotecnologia no setor elétrico**: um estudo prospectivo. Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Inovação) - Coordenação de Pesquisa e Educação em Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento - Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, Rio de Janeiro, 2014.

The contemporary everyday life is full of mundane actions that solve big problems . It is simple to light a lamp , connect a TV or use a lift . But behind these acts there is an intricate chain of events where numerous devices operate seamlessly executing complex processes so that electricity is always available. A curious aspect of this reality is that it is still based on concepts established in the late nineteenth century , ie , the progress of the Power Sector has been slow and incremental fundamentally without disruptions. This evolutionary behavior could be tolerated indefinitely were it not for the tendency of concentration of world population in major urban centers and the exponential increase in demand for electricity. This situation will make the blocks of energy to be transported from distant sources to the consuming centers are increasing , leading the model to the limit, with risk of collapse . Already nanotechnology has emerged as a technological movement that promises breaks wherever they enter. There is talk about a new revolution, larger even than that of electronics. The volume of patents is growing at a pace that surpasses all other major technological movements, including the chemistry and electricity. Then we must ask: How Nanotechnology will affect the Power Sector? In Brazil, both governmental and corporate initiatives have been directed to health (drugs, food, cosmetics and therapeutic methods) and new materials for general use. This work aims to reducing this knowledge gap. Were investigated prospectively, the themes that relate to the question stated above. More specifically tried to detect trends of advances that may have application in projects and maintenance techniques of electrical systems. The data used were obtained from patent documents. Was developed and applied a search strategy that selected 1415 documents. The study of this material has provided an overview of possible uses of nanotechnology in the Electricity Sector. It was concluded that there is good prospect of improvements in machinery and electrical equipment traditionally used. It was also concluded that nanotechnology will be crucial in the development of systems for distributed generation of electricity, disruptive model that has the possibility of coming to mitigate future problems for the Electricity Sector.

Keywords: Electric Sector, Electrification, Nanotechnology, Prospection.

SUMÁRIO

Introdução.....	14
1 Eletrificação.....	20
1.1 Fundamentos.....	21
1.2 Origens.....	25
1.3 A Guerra das Correntes Elétricas.....	30
1.4 Cenário atual.....	42
2 Estudo de futuro.....	45
2.1 Nanotecnologia.....	53
2.2 Prospecção tecnológica.....	59
2.3 Prospecção em documentos de patente.....	60
3 Metodologia.....	62
4 Resultados da aplicação da metodologia.....	69
4.1 Análise qualitativa: modelo tradicional.....	71
4.1.1 Graxas e lubrificantes.....	71
4.1.2 Materiais elétricos.....	73
4.1.3 Materiais magnéticos.....	74
4.1.4 Óleos isolantes.....	76
4.1.5 Revestimentos hidrofóbicos.....	76
4.1.6 Revestimentos protetivos.....	77
4.2 Análise qualitativa: geração distribuída.....	79
4.2.1 Armazenamento de energia elétrica.....	80
4.2.2 Células a combustível.....	83
4.2.3 Painéis fotovoltaicos.....	85
4.3 Outras aplicações.....	87
5 Conclusões.....	88
Referências bibliográficas.....	94
Anexo A – Exemplos de documentos analisados.....	98
Anexo B – Crônica de um futuro desejável: Smart Kids.....	116

Introdução

A eletrificação da sociedade em larga escala teve início na Era de Ouro³ dos EUA, mais especificamente em Nova York nos anos 1880. Essa iniciativa que mudou a forma como o homem realiza e se relaciona com todas as suas atividades teve como atores principais algumas das figuras centrais da história da economia e da tecnologia com Morgan, Edison, Tesla e Westinghouse (HUGHES, 1993).

Desde cedo se percebeu com clareza o impacto que o novo paradigma traria para os setores industriais e de serviços, especialmente na iluminação e no uso de motores. Essa percepção criou um cenário competitivo muito agressivo que resultou em uma das disputas corporativas mais brutais e importantes da história. Esse processo foi denominado de “Guerra das Correntes Elétricas” e seu resultado definiu a forma do Setor Elétrico, cujas principais características predominam até hoje.

Essa raridade de inovações radicais em uma história de mais de cem anos é decorrente de características inerciais muito particulares de como a eletrificação foi implementada em seus primórdios.

A energia elétrica tipicamente é gerada longe da carga consumidora e é transmitida e distribuída a partir de redes de fios elétricos. Esse modelo é complexo de ser implantado e administrado, é intensivo em capital e caro de ser mantido. Além disso, há muitas perdas (mecânicas, térmicas e elétricas) nas formas como a energia é convertida e transmitida.

Mas devido a contínuas inovações incrementais essa forma de entregar energia ao usuário tem evoluído em qualidade e hoje consegue cumprir bem o seu papel com a Sociedade.

³ Em inglês, no original: *Gilded Age*

A despeito do bom desempenho percebido na atualidade, no longo prazo esse modelo deverá apresentar desgaste. O crescimento exponencial do consumo de eletricidade aliado à tendência de concentração da população mundial em grandes centros urbanos exigirá que os blocos de energia a serem transportados das fontes distantes até os centros consumidores venham a ser cada vez maiores, levando o modelo ao limite, com risco de colapso. Além disso, as fontes tradicionais de energia elétrica não estão alinhadas às demandas ambientais globais, especialmente quanto ao aquecimento e poluição do ar devido às fontes térmicas baseadas em carvão e gás.

A nanotecnologia poderia mitigar essas questões preocupantes, promovendo outros tantos avanços incrementais, talvez com efeitos mais percebidos na redução de custos de projeto e manutenção e aumento da eficiência energética, porém sem revolucionar o Setor.

Isso ocorreria a partir da aplicação dos materiais nanotecnológicos no aperfeiçoamento dos equipamentos empregados nos processos tradicionais de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Esses materiais têm apresentado propriedades químicas, mecânicas, elétricas e magnéticas surpreendentes, sugerindo oportunidades de melhorias por toda a cadeia produtiva.

As máquinas rotativas presentes na etapa de geração poderiam se tornar mais eficientes e resistentes a desgastes. Os óleos utilizados como lubrificantes e isolantes poderiam ser mais duráveis. Os cabos, fios e contatos elétricos poderiam apresentar menos resistência elétrica. As baterias poderiam apresentar mais capacidade e menor tempo de carga. Isso só para citar alguns exemplos.

De forma complementar ao progresso incremental do Setor, atualmente há também desenvolvimentos na direção da quebra do paradigma tradicional através da adoção de um novo esquema comumente chamado de geração distribuída.

Nesse modelo a geração de energia elétrica ocorre junto à carga consumidora, reduzindo as perdas e dispensando grandes investimentos em infraestrutura. Por exemplo, um sistema fotovoltaico pode extrair e converter a energia solar local e armazená-la em baterias para uso posterior.

Nesse cenário a casa onde o usuário final mora, o edifício onde trabalha, a escola onde seus filhos estudam, o restaurante onde leva a família, o clube que frequenta, passam a ter condições de autosuficiência em energia elétrica. Esses locais agora são *nanogrids*⁴.

Mas para que esse esquema torne-se atraente em larga escala a implantação dos equipamentos deve poder ser realizada com o mínimo gasto de espaço, o que impõem limitações de tamanho aos projetos.

Como a nanotecnologia consegue viabilizar processos eficientes em pequenos volumes, equipamentos baseados nesses princípios podem alcançar tamanhos aceitáveis, vindo a ser o fator de sucesso desse modelo.

Apesar da relevância do tema e da nítida sinalização de necessidade de intervenção nessa trajetória inercial centenária que o modelo de eletrificação apresenta, não se observa ação específica de investigação dos benefícios que a nanotecnologia poderia trazer ao Setor Elétrico.

No Brasil, por exemplo, as iniciativas tanto governamentais quanto empresariais, têm sido direcionadas à saúde (fármacos, alimentos, cosméticos e métodos terapêuticos) e a novos materiais de uso geral.

⁴ Neologismo do autor para descrever um sistema elétrico mínimo em tamanho e em escopo de fornecimento de energia e com funcionamento independente da rede elétrica tradicional.

Diante disso, justifica-se a investigação sobre as possibilidades de uso da nanotecnologia nos produtos e processos relacionados com geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Para atender essa demanda, desenvolveu-se um estudo de futuro tecnológico do Setor Elétrico a partir de documentos de patente, com foco no potencial de uso da nanotecnologia. Mais especificamente, são identificados:

- os equipamentos utilizados na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica que podem se beneficiar da nanotecnologia
- as aplicações da nanotecnologia que podem trazer vantagens técnicas e econômicas a esses equipamentos
- as tendências nanotecnológicas aplicáveis a esses equipamentos

No primeiro capítulo é apresentada a história da formação do Setor Elétrico, desde os primórdios da eletrificação em corrente contínua⁵ (DC) a partir da iniciativa de Thomas Edison até a consolidação do sistema trifásico em corrente alternada⁶ (AC).

Ainda neste capítulo são narradas as realizações dos principais inventores envolvidos com as questões do fornecimento de eletricidade. Também são abordadas as questões organizacionais que resultaram na formação dos grupos empresariais que definiram a forma final do processo de eletrificação, notadamente a *General Electric Company* e a *Westinghouse Electric Company*.

Uma vez apresentados os eventos e motivos históricos para a eletrificação, é mostrado o cenário atual do Setor e a evolução recente das fontes de energia

⁵ Em inglês, no original: *Direct Current*

⁶ Em inglês, no original: *Alternate Current*

elétrica que vieram a se desenvolver no decorrer do século vinte. São elas de origem térmica, como carvão, gás, óleo e nuclear e renováveis, que incluem as fontes hidráulicas, eólicas e fotovoltaicas.

De posse dos conceitos sobre geração e transmissão da eletricidade e de como está o perfil de utilização no mundo, passa-se então, no segundo capítulo, a abordar as questões relativas aos estudos de futuro.

Alí são tratados aspectos históricos e conceituais tando dos estudos de futuro em si, quanto da prospecção tecnológica, especialmente com uso de documentos de patente.

Este mesmo capítulo contém as informações sobre nanotecnologia. É descrita sua trajetória histórica, com ênfase nos principais marcos técnicos. É mostrada também a relação de alguns materiais nanotecnológicos com produtos e processos relacionados com eletricidade.

Agora com os conceitos sobre prospecção através do sistema de patentes, no terceiro capítulo é apresentada a metodologia. Esta se baseia na busca de depósitos de patente cruzando os temas eletricidade e nanotecnologia em uma base de dados comercial. Isso é feito a partir da conjugação da classificação de patentes (CIP) com palavras-chave.

O quarto capítulo trata dos resultados oriundos da aplicação da metodologia. Estão eles divididos em três partes. Na primeira, denominado “Modelo Tradicional”, são tratados os assuntos com potencial de aumentar o desempenho do modelo atualmente predominante. A segunda, denominada “Geração Distribuída”, trata dos assuntos com capacidade de contribuir com o modelo da geração distribuída.

A terceira parte desse quarto capítulo elenca assuntos não enquadrados como integrantes do escopo da pesquisa, mas que merecem ser registrados pelo interesse que despertam no Setor Elétrico.

No quinto capítulo são então apresentadas as conclusões. Destacam-se aí os indícios de que há tendência internacional de introdução da nanotecnologia em alguns produtos e processos de interesse do Setor Elétrico.

Encontram-se também nesse capítulo algumas sugestões de trabalhos futuros, notadamente a elaboração de mapas de conhecimento com os dados levantados e a criação de um observatório tecnológico para acompanhamento dos temas de interesse aqui identificados.

Porém em alguns assuntos específicos foram identificadas lacunas de desenvolvimento que sugerem haver espaço para desenvolvimentos nacionais.

Como conclusão principal tem-se que a geração distribuída deverá ser bastante favorecida pelos avanços nanotecnológicos nos sistemas fotovoltaicos e nas baterias de lítio.

Em seguida são apresentadas as referências bibliográficas e dois anexos. No anexo "A" pode ser vista uma lista com alguns dos documentos de patente que foram utilizados.

Por fim, no anexo "B", pode ser lida uma crônica ilustrativa dessa dissertação. Ela mostra um futuro desejável para nossos descendentes, pelo menos no que diz respeito à energia elétrica.

1 Eletrificação

A conexão entre dois momentos históricos pode ser feita por diversos caminhos, cada um deles contendo fatos e personagens distintos. A escolha dependerá do viés de interesse.

Aqui o trajeto a ser percorrido se inicia com as primeiras experiências com eletricidade e vai até a consolidação do modelo empregado na eletrificação da indústria, do comércio e das residências. Os atores principais dessa história são os que se envolveram no desafio de fazer dessa energia fonte de progresso e conforto.

A narrativa seguirá a lógica causal adotada pelos pesquisadores Jill Jonnes (JONNES, 2004), Donald McPartland (MCPARTLAND, 2006) e Thomas Hughes (HUGHES, 1993), sendo esse último o mais eminente historiador do Setor Elétrico. Essas são obras recentes que revisitaram a história da eletrificação com o intuito de esclarecer alguns aspectos mais obscuros e desmistificar outros, especialmente quanto às influências e as condutas de Thomas Edison, George Westinghouse e Nikola Tesla.

O ponto inicial foi fixado na Grécia Antiga, com as primeiras reflexões de Thales de Mileto acerca das misteriosas propriedades do âmbar. O epílogo acontece com a consagração do sistema AC na construção da usina hidrelétrica das Cataratas do Niágara nos anos 1890.

Após essa contextualização histórica são apresentados alguns avanços nas formas de produção de energia elétrica, onde se percebe que os conceitos fundamentais consolidados no século XIX mantiveram-se inalterados.

Será apresentado também o panorama atual da eletrificação no mundo. Os dados utilizados, do *World Bank* (2013), reforçam a percepção de que muito pouco mudou desde os primeiros grandes empreendimentos elétricos.

1.1 Fundamentos

A mais antiga reflexão sobre os fenômenos elétricos remonta a Thales de Mileto, por volta de 600 a.C. e suas demonstrações sobre como o âmbar conseguia atrair alguns objetos leves. O estranho comportamento dessa resina vegetal causava considerável espanto ao ponto de ela ser considerada presente dos deuses na mitologia grega (JONNES, 2004).

Esse assunto só viria a ser retomado no final do século XVI por William Gilbert, filósofo da corte da rainha Elizabeth I, da Inglaterra. Gilbert ampliou largamente o escopo dos experimentos de Thales e concluiu que vários outros materiais se eletrificavam quando atritados por borracha. A partir desses resultados cunhou o termo *electric* baseado na palavra grega *elektron*, que significa âmbar (JONNES, 2004).

Ao tomar conhecimento dos experimentos de Gilbert, Otto von Guericke, prefeito de Magdeburgo (na atual Alemanha) desenvolve, em 1660, o que hoje seria chamado de gerador eletrostático. Consistia em uma esfera de enxofre que, ao ser atritada, gerava centelhas.

Guericke fabricou diversas esferas e enviou a cientistas, mas somente em 1709 que o curador de instrumentos da *Royal Society*, Francis Hawksbee deu importância ao tema. Hawksbee desenvolveu dispositivo semelhante, porém a esfera era de vidro oco, ao invés de enxofre (JONNES, 2004).

Equipamentos como esse passaram a ser desenvolvidos e utilizados como fonte de eletricidade e a pesquisa mais relevante da época foi realizada por Stephen Gray em 1729, na Inglaterra. Gray tentou descobrir qual seria a distância máxima que os fenômenos elétricos conseguiriam alcançar.

Tentou diversas substâncias e concluiu que os metais são bons condutores. Conseguiu transmitir eletricidade a partir de um gerador eletrostático do tipo Hawksbee a distâncias superiores a 250 metros.

Seu experimento mais memorável era conhecido por *electrified boy* e consistia em um menino pendurado em linhas de seda, vestido com roupas isolantes, tendo expostas somente as mãos e a cabeça. Quando tocado pelo sistema eletrostático os cabelos do menino ficavam de pé três conjuntos de limalha de latão se elevavam nas direções das mãos e cabeça (JONNES, 2004).

Uma vez que já se conseguia gerar e transmitir eletricidade, a próxima realização seria armazená-la. Coube ao holandês Pieter van Musschenbroekesse passo através do dispositivo conhecido por garrafa de Leyden, referência à sua cidade onde esse desenvolvimento ocorreu. Em 1746 Musschenbroek conseguiu eletrificar o conteúdo de água de uma garrafa transportando, através de fios condutores, a carga gerada por um dispositivo eletrostático. Criou com isso o antecessor do capacitor.

O armazenamento de energia elétrica em dispositivos capacitivos viabilizou diversos novos experimentos, inclusive alguns relacionados com a medicina. O mais notável desenvolvimento nessa área foi realizado por Luigi Galvani com seus experimentos com sapos realizados durante a década de 1780 (JONNES, 2004).

Galvani propôs que o tremor observado nas pernas dos sapos quando próximos a geradores eletrostáticos indicava o caráter “animal” da eletricidade.

Essa conclusão causou polêmica e foi fortemente combatida por Alessandro Volta, que achava que a eletricidade derivava de interações químicas. Em suas investigações para comprovar sua hipótese, Volta descobriu que era possível gerar corrente elétrica a partir de pares de metais. Em 1800 desenvolveu a primeira bateria, proporcionando à comunidade científica enormes recursos laboratoriais. Agora de posse de quantidades praticamente ilimitadas de eletricidade, as grandes instituições de pesquisa avançaram fortemente na nova ciência (JONNES, 2004).

Esse foi o caso da *Royal Institution*, onde Humphry Davy construiu enormes baterias para demonstrar que, como disse Volta, o funcionamento das baterias devia-se a interações eletroquímicas. Conseguiu provar a hipótese decompondo vários compostos em seus elementos básicos.

Apesar da enorme importância desses experimentos, a pesquisa mais espetacular de Davy foi a criação da iluminação por arco elétrico em 1809. Porém esse dispositivo consumia muita energia e tinha vida útil muito curta, pois utilizava eletrodos de carbono que eram consumidos em cerca de duas horas de operação. Apesar da ineficiência do sistema, ficou claro que havia aplicações práticas da eletricidade (JONNES, 2004).

Outro grande avanço decorrente do uso das baterias foi a descoberta, em 1820, da relação entre eletricidade e magnetismo. Esse salto deu-se pela observação do dinamarquês Hans Christian Oersted de que a posição da agulha de uma bússula se alterava com a passagem da corrente por um fio próximo.

Ao saber dos resultados de Oersted, o parisiense André Marie Ampère repetiu os experimentos e concluiu que a magnitude do campo magnético era proporcional à da corrente que passava no condutor. Verificou também que condutores em paralelo

se atraíam caso as correntes fluíssem na mesma direção e repeliam caso as correntes fluíssem em sentidos opostos.

Baseado nessas descobertas, o norte-americano Joseph Henry começou a criar eletromagnetos que conseguiam sustentar pesos de até uma tonelada diante de platéias impressionadas. A nova ciência estava tornando-se popular (JONNES, 2004).

Contratado por Humphry Davy em 1813 para ser seu assistente, Michael Faraday só viria a se interessar pela eletricidade em 1821, após ser convidado a escrever sobre o assunto por Richard Philips, editor do periódico *Annals of Philosophy* (JONNES, 2004).

Rapidamente se consolida como principal pesquisador na área e, em 1831, consegue converter magnetismo em eletricidade, lançando os fundamentos do dínamo. Mas Faraday não estava interessado em encontrar aplicações para suas descobertas fazendo com que o dínamo só viesse a superar as baterias como principal fonte de energia elétrica 35 anos depois com os inventos do belga Zénobe Théophile Gramme.

O dínamo de Gramme utilizava eletromagnetos no lugar dos tradicionais ímãs. Obteve dessa forma potência suficiente para viabilizar a iluminação por arco elétrico, uma vez que esse tipo de dispositivo consumia muita energia, não sendo prático o uso de baterias (JONNES, 2004).

Em 1876 o russo Paul Jablochhoff solucionou o problema do desgaste dos eletrodos de carvão colocando vários deles em paralelo. Quando um par se exauria o próximo era ativado o que permitia que o dispositivo funcionasse por 16 horas.

O sucesso de Jablochkoff causou uma corrida tecnológica nos EUA. Moses Farmer e William Wallace começaram a dominar esse segmento, mas logo iriam ser suplantados por Charles Brush (MCPARTLAND, 2006).

Thomas Edison já era um bem sucedido empreendedor em eletricidade com suas patentes com telégrafos, mas não investia muito no setor de iluminação. Seu amigo George Barker foi quem insistiu em que ele deveria dar atenção a essa nova indústria e como ele não dava atenção ao material técnico que Baker lhe enviava, este o levou para conhecer a fábrica de Wallace.

Ao ver o dínamo movido a máquina a vapor alimentar, simultaneamente, oito lâmpadas de arco, no dia 8 de setembro de 1878 Thomas Edison decidiu entrar no ramo da iluminação (MCPARTLAND, 2006). A corrida para eletrificação tinha começado.

1.2 Origens

Edison desde criança mostrou-se curioso, criativo e empreendedor. Com treze anos começou a trabalhar na empresa ferroviária *Grand Trunk Railroad*, alcançando o posto de telegrafista três anos depois.

Sua primeira patente, obtida em 1869, foi um sistema para votação onde um congressista poderia instantaneamente sinalizar sua posição (sim ou não). Essa invenção foi considerada inútil pelos políticos e fez com que Edison aprendesse que para o invento ser bem sucedido, deve haver mercado. Essa premissa orientou todas as suas pesquisas posteriores (JONNES, 2004).

Após esse fracasso, Edison passou a investir em desenvolvimentos relacionados com o telégrafo. Para tanto criou uma empresa que desenvolvia invenções por encomenda.

Os recursos obtidos com essas patentes viabilizaram a implantação de um laboratório em larga escala, a fábrica de invenções de Edison, localizada no vilarejo de *Menlo Park*⁷, em *New Jersey*, EUA.

Essa nova configuração de trabalho e negócio com foco nos direitos de propriedade intelectual modificou a relação da tecnologia com o capital, sendo considerado atualmente o maior legado de Edison (HUGHES, 1993).

Foi nesse ambiente profícuo, mas voltado a resultados financeiros que Edison lançou-se intempestivamente à tarefa de iluminar as residências do planeta com lâmpadas elétricas. Apesar de sua já enorme reputação, suas afirmações quanto ao sucesso da empreitada foram muito questionadas.

De fato a busca por uma solução elétrica para iluminação de ambientes internos já durava 40 anos, incluindo pesquisas de Sir Humphry Davy e do próprio Edison, que havia desistido para se dedicar a inventos com mais capacidade de retorno, especialmente o fonógrafo e aperfeiçoamentos do telefone (MCPARTLAND, 2006).

As questões básicas que tornavam o problema difícil eram a durabilidade e o consumo. As lâmpadas até então duravam acesas menos de duas horas e consumiam grande quantidade de energia. Essas características inviabilizavam o negócio.

Edison atacou frontalmente esses dois problemas. Primeiramente definiu que o filamento deveria ser de alta resistência, o que, pela Lei de Ohm (1827), implicaria

⁷ Não confundir com a cidade de *Menlo Park*, na Califórnia, cidade sede do *Facebook*, próxima à *Stanford University*. Ambas as localidades tem seus nomes inspirados na cidade de Menlo, na Irlanda.

baixa corrente de operação. O que hoje parece trivial, não o era à época. Poucos percebiam a amplitude de efeitos da Lei de Ohm e ninguém tão bem quanto Edison. Isso se devia a seu foco no produto. Com baixa corrente de operação os fios poderiam ser finos, economizando cobre, e os geradores conseguiriam alimentar mais lâmpadas.

De fato o preço do cobre era o maior obstáculo econômico, pois era monopolizado por um cartel francês. Esse aspecto era fundamental, pois Edison percebeu que para comercializar a lâmpada ele teria de desenvolver e implantar todo um sistema de geração e transmissão de eletricidade, o que envolveria grande quantidade de fios.

O modelo de negócio de Menlo Park fazia com que a imprensa tivesse muito interesse nas atividades criativas que lá ocorriam. A eletricidade era novidade e cada invento era anunciado como nova maravilha.

Edison gostava dessa dinâmica e a utilizava para seus próprios interesses. O primeiro resultado concreto foi promovido com muito alarde, apesar de não ser muito superior aos inventos predecessores, pois a lâmpada durava somente duas horas, não sendo também economicamente viável.

Apesar disso Edison decidiu aproveitar o momento e alavancou capital para acelerar as pesquisas. Em uma manobra financeiramente muito arriscada criou, em 16 de outubro de 1878, a *Edison Electric Light Company*. Dentre os investidores encontravam-se J.P. Morgan, a família Vanderbilt e o presidente da *Western Union*, principal empresa do setor de telégrafos e usuária de várias patentes de Edison. Percebe-se aí a enorme reputação do inventor.

Mais uma vez Edison demonstrou o foco na propriedade intelectual, pois sua participação majoritária na empresa foi assegurada pelo valor estimado de suas patentes, presentes e futuras, em iluminação.

Nesse ponto ocorreu a maior contribuição de Edison na eletrificação. Ele desenvolveu um sistema de distribuição com alimentadores principais utilizando fios mais grossos e distribuidores utilizando fios mais finos. Essa configuração reduziu a quantidade de cobre para um oitavo do previsto originalmente, viabilizando a criação da primeira central de distribuição.

Esse novo arranjo elétrico somado a avanços nos dínamos e nos filamentos das lâmpadas tornaram o sistema viável em tempo surpreendentemente curto, tornando a já enorme reputação de Edison em algo lendário, o que viria a causar forte impacto negativo no futuro da eletrificação.

Edison construiu um sistema de transmissão ao redor do laboratório de Menlo Park e, em 31 de dezembro de 1879, demonstrou sua nova lâmpada que durava mais de 14 horas e os conceitos que seriam aplicados na futura estação central de energia elétrica.

Deparou-se com diversos problemas envolvendo as instalações em si, especialmente quanto ao isolamento elétrico dos fios. Teve também que disputar judicialmente com outros inventores, especialmente William Sawyer e Hiram Maxim, a anterioridade da lâmpada com filamento de carbono.

Agora que tinha conseguido demonstrar a viabilidade do negócio, retornou aos mesmos investidores para conseguir recursos suficientes para eletrificar parte de Nova York, uma tarefa muito mais ambiciosa e que envolvia disputas com as empresas que já operavam há algum tempo com iluminação por arco elétrico.

E abril de 1881 conseguiu a licença para instalação da rede subterrânea. Em seguida selecionou o local da estação de distribuição, que deveria ficar no centro da área a ser eletrificada, pois o raio de alcance era de menos de mil metros. Selecionou um terreno na Rua Pearl e batizou a instalação de *The Pearl Street Station*.

A estação foi inaugurada somente em quatro de setembro de 1882, após várias falhas técnicas, indicando o alto risco desse tipo de empreendimento. Dentre os primeiros clientes estavam o The New York Times e vários bancos importantes, inclusive o Drexel, Morgan e Company, antecessor do J. P. Morgan, primeira instituição bilionária mundial e maior financiadora das indústrias do aço e das ferrovias.

Essa enorme vitória técnica reforçou sua visão de que seus concorrentes viriam a falir pela rápida obsolescência de seus negócios ou que poderiam ser derrotados na justiça através de processos de propriedade intelectual. No primeiro caso encontravam-se as empresas que forneciam iluminação por arco elétrico, no segundo as que infringiam suas patentes, especialmente no caso da lâmpada com filamento (HUGHES, 1993).

A conjugação dessa autoconfiança exacerbada com a grande dependência financeira de seus investidores e com as características da tecnologia que estava implantando faria com que sua posição hegemônica no processo de eletrificação durasse pouco.

1.3 A Guerra das Correntes Elétricas

A beleza originalmente percebida no esquema de Edison para viabilizar a distribuição da eletricidade para as lâmpadas de filamento tinha uma crítica limitação: a distância máxima entre a estação geradora e o usuário final. Devido às características de resistência do filamento a tensão tinha que ser baixa e devido ao preço do cobre o fio tinha que ser fino, o que causa maior perda elétrica. Essa relação de compromisso limitava o comprimento do fio a ser utilizado, reduzido o alcance da estação.

Muitos especialistas já tinham percebido essa fraqueza, porém ninguém propôs uma alternativa seriamente competitiva até George Westinghouse ler no periódico inglês *Engineering* sobre a invenção chamada “gerador secundário” de Lucien Gaulard e John Gibbs. Em breve esse dispositivo já seria tratado por seu nome atual: transformador (HUGHES, 1993).

O transformador é um dos constituintes básicos dos sistemas de transmissão de energia elétrica. Seus conceitos já tinham sido desenvolvidos por Faraday, porém sem viés comercial, aliás, como tudo que Faraday investigou. Ele permitia manipulação dos valores de tensão AC, viabilizando uma transmissão de energia elétrica em tensões maiores com posterior redução no usuário final. Essa propriedade contorna com simplicidade e baixo custo a questão do limite de distância do sistema DC.

Westinghouse claramente viu aí o substituto para os sistemas desenvolvidos por Edison e, como fazia em todos os seus empreendimentos, tratou de adquirir os direitos sobre a propriedade intelectual. Isso aconteceu em 1885 (MCPARTLAND, 2006).

Apesar de hoje ter seu nome mais relacionado com eletricidade, Westinghouse começou sua fortuna e reputação em engenharia mecânica. Seus inventos para o setor ferroviário foram muito reconhecidos, especialmente um sistema de freios pneumáticos que aumentou sensivelmente a segurança, lhe trazendo enorme reputação ainda que tivesse somente 22 anos de idade.

Assim como Edison, Westinghouse cometeu erros estratégicos no licenciamento e comercialização de suas primeiras idéias. Isso o tornou sagaz e agressivo com seus direitos em propriedade intelectual, mas diferentemente de Edison, ele não se importava de adquirir e utilizar ideias de outros inventores.

Seu interesse com as questões de segurança no setor ferroviário e o sucesso de seu freio pneumático o levaram a refletir sobre melhorias na sinalização das estradas de ferro que era feita com lamparinas à óleo. Percebeu que soluções com uso de eletricidade seriam bem mais eficientes e confiáveis e, em 1881, começou a comprar patentes promissoras. Fez então alguns avanços e criou, em 1882, a *Union Switch and Signal Company*, e rapidamente dominou esse novo campo. Muitos eram os desafios com a eletricidade e em 1884, por recomendação de seu irmão Herman, contratou William Stanley como principal eletricitista, fato decisivo para o futuro da eletrificação (HUGHES, 1993).

Quanto mais Westinghouse se envolvia com eletricidade mais percebia a necessidade do fornecimento para longa distância. Mas foi seu talento para desenvolver sistemas que atuavam à distância, como os casos do freio para trens (que atuavam ao longo dos vagões) e a sinalização ferroviária, que permitiu detectar o valor da ideia de Gaulard e Gibbs.

Através de seus contatos na Europa conseguiu colher opiniões, inclusive de Werner von Siemens, a grande referência européia na indústria elétrica, que insistiu

em que os desenvolvimentos em AC não tinham futuro. Mas Westinghouse mesmo assim adquiriu os direitos de propriedade do transformador e negociou o transporte de uma unidade para fazer experimentos em solo americano.

O dispositivo foi entregue a Westinghouse em 22 de novembro de 1885, por Reginald Belfield, um funcionário da Gaulard-Gibbs, porém estava em péssimas condições e quase que o contrato foi desfeito. Porém Westinghouse estava muito convencido do potencial do invento e por fim decidiu reconstruir o dispositivo para poder estudar suas aplicações. Nesse processo acabou por aperfeiçoá-lo de forma que pudesse ser fabricado com mais facilidade.

Mas seu entusiasmo só era compartilhado com William Stanley, seu electricista chefe, de forma que este assumiu o projeto da transmissão AC.

Pittsburg, a cidade sede das empresas de Westinghouse, era um lugar muito poluído devido às siderúrgicas. Esse ambiente profundamente insalubre provavelmente foi a causa do adoecimento de Stanley, que então se mudou para Great Barrington, área rural próxima a Pittsburg. Lá Stanley desenvolveu e implantou, em 1886, o primeiro sistema comercial de transmissão AC do mundo (HUGHES, 1993).

Esse feito reforçou a percepção de Edison de que Westinghouse era um formidável e perigoso rival, alguém realmente capaz de afetar sua ambição monopolista na eletrificação do mundo.

Apesar da ascensão de Westinghouse preocupar Edison, este nada podia fazer a não ser expressar opinião contra o risco que o uso da corrente alternada em alta tensão trazia para a população e, em especial, para os empregados.

A tensão para se conseguir iluminação por arco elétrico é alta o suficiente para causar a morte em caso de choque elétrico, situação inexistente no caso da corrente contínua que operava com tensões baixas.

Em 1888 uma grande nevasca castigou Nova York, causando muitas mortes, várias delas atribuídas a choques devidos a quedas de fios pelo peso da neve. Esse e outros incidentes começaram a deixar claro ao público que a rede elétrica era perigosa, pelo menos da forma como estava sendo implantada. Em uma indústria ainda nascente, os critérios de segurança ainda estavam se desenvolvendo, não sendo, portanto surpresa que acidentes ocorressem (JONNES, 2004).

Mas o fato de que pessoas pudessem morrer de forma fulminante por causa de um choque elétrico forneceu material para que se pensasse em utilizar a eletricidade na aplicação da pena de morte, no lugar do enforcamento (JONNES, 2004).

Como Edison era de longe o inventor mais conhecido e respeitado, ele foi consultado sobre a possibilidade de desenvolver um aparato elétrico para execução de prisioneiros. Em um primeiro momento ele recusou, mas logo em seguida viu aí uma oportunidade de denegrir o sistema AC de Westinghouse, associando-o formalmente com a morte por eletrocussão (JONNES, 2004).

Seu objetivo principal era obter a proibição do uso de altas tensões, base da vantagem comercial do sistema AC de Westinghouse. Essa medida liberaria todo o mercado para a corrente contínua em baixa tensão, domínio das patentes de Edison.

Porém não levou em consideração que havia inúmeras outras empresas que operavam com arco elétrico. Essas empresas se viram também ameaçadas e se uniram contra Edison.

Além disso, após muita disputa judicial sobre o uso da eletricidade na aplicação da pena capital, a primeira eletrocussão foi um desastre, com grande sofrimento para o condenado, o que afetou a imagem de Edison e reduziu a pressão sobre a proibição do uso de alta tensão em corrente alternada (JONNES, 2004).

As vantagens do sistema AC estavam rapidamente se consolidando entre os engenheiros, inclusive na empresa de Edison, mas este se mantinha orgulhosamente irredutível, se recusando a investir em algo que não fosse de sua autoria.

Essa posição fez com que a lucratividade da *Edison Electric Company* ficasse abaixo do desejado. De fato, a Thomson-Houston, empresa que vinha insistindo há muito tempo em se fundir com Edison para evitar a perda de receita devido a litígios sobre patentes, obteve, em 1891, mais do dobro da lucratividade da rival. Essa situação impressionou J. P. Morgan que decidiu, como maior investidor, fundir as duas empresas, porém dando mais força à Thomson, já que esta tinha se mostrado mais eficiente.

Apesar da fama do grande inventor, como a participação da Thomson era maior por conta de sua lucratividade, a nova empresa nasceu sem os nomes dos inventores, sendo batizada simplesmente de GE, *General Electric*.

Essa decisão estratégica foi tomada sem consulta à Edison, então acionista minoritário devido às diversas manobras de capitalização que foram necessárias para consolidar os empreendimentos e manter o ritmo de crescimento da empresa.

A GE surgiu já controlando 75% do mercado dos EUA e sob a direção de Charles Coffin, presidente da Thomson-Houston (MCPARTLAND, 2006).

O desgosto da fusão realizada sem seu consentimento e com o empoderamento de Coffin foi agravado pela eliminação de seu nome do meio corporativo que tinha criado. A partir daí Edison foi se afastando da cena de pesquisa, desenvolvimento e inovação da eletrificação, que ficou desimpedida para o empreendedorismo de Westinghouse, a despeito do cartel instituído pela GE (JONNES, 2004).

Em paralelo a esses acontecimentos, mas em rota de colisão com eles, vinha se desenvolvendo a história de Nikola Tesla.

Tesla estava destinado à carreira religiosa na Sérvia, onde nasceu, porém uma grave enfermidade fez seu pai atender ao desejo do filho de seguir a engenharia. Livre do peso de seu futuro indesejado, o rapaz curou-se milagrosamente e o pai cumpriu a promessa, enviando-o para estudar o que mais desejava desde criança: eletricidade.

Em seus estudos Tesla se deparou com os motores de corrente contínua e o centelhamento que eles provocavam o incomodaram bastante. Passou cerca de cinco anos refletindo sobre o desafio de criar um motor que não produzisse centelhas, o que proporcionaria grande avanço em termos de rendimento, segurança e manutenção.

Sua epifania ocorreu no começo de 1882 em um parque em Budapeste, enquanto passeava com um amigo. Concebeu nesse momento o motor de indução. Essa disruptura sem precedentes baseava-se no campo magnético girante obtido a partir de dois circuitos de corrente alternada defasados entre si.

Apesar da genialidade da solução, ninguém dava atenção ao invento, pois o tudo indicava que o futuro da eletricidade estava na corrente contínua de Edison. Apesar do desgosto causado pelo desinteresse frente aos seus inventos, Tesla se

empenhou como engenheiro cumprindo seu papel com destaque, mesmo acreditando que suas idéias eram melhores.

Em 1883 conseguiu emprego na filial européia das empresas de Edison e seus talentos logo o levaram a trabalhar com o grande inventor em pessoa, em seu famoso laboratório em Nova York.

Mas desacordos técnicos e financeiros com Edison fizeram com que Tesla ficasse pouco na empresa. Saiu em 1885 e iniciou um período de dificuldades que o afastaram das pesquisas. Mas mesmo em empregos pouco técnicos, Tesla se destacava pelo esforço, o que fez com que, em 1887, o indicassem para trabalhar como engenheiro na *Western Union Telegraph Company*. Lá conseguiu retornar as conversas sobre seus inventos e acabou sendo apresentado a um influente advogado de patentes. Através dele conseguiu finalmente investidores para os gastos com os depósitos das patentes necessárias.

Rumores sobre essa novidade se espalharam pela comunidade de eletricitas e, Thomas Martin, o então presidente do *American Institute of Electrical Engineers*⁸ (AIEE) e editor do influente periódico *Electrical World* se interessou pelos seus desenvolvimentos.

Tesla foi muito reticente em expor suas idéias, mas quando sete de suas patentes foram deferidas em maio de 1888 ele acabou cedendo às pressões e proferiu uma palestra para a conferência do AIEE que o tornou imediatamente famoso (JONNES, 2004).

Ao saber desses inventos, Westinghouse logo percebeu sua importância e decidiu que teria de adquirir as patentes. Tesla por sua vez viu no empresário a pessoa certa para viabilizar comercialmente suas criações. Fecharam então um

⁸ Atual IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*.

acordo de exclusividade que garantia recursos financeiros suficientes para que o inventor pudesse dar andamento à suas novas ideias.

Mas a utilização do motor de indução não seria tão imediata quanto os engenheiros a princípio acharam. Apesar de funcionar também com corrente alternada, especialidade das indústrias elétricas de Westinghouse, o motor operava com duas fases e em frequência diferente das que já estavam em utilização. Tesla insistia em usar 60Hz, enquanto as usinas de Westinghouse operavam em 133Hz.

Essa incompatibilidade impediu o uso imediato das invenções de Tesla, situação agravada pela Guerra das Correntes Elétricas que impunha alto risco aos novos investimentos no campo da corrente alternada (HUGHES, 1993).

Para piorar o cenário no final de 1890 alguns dos principais bancos ingleses faliram afetando fortemente as finanças dos EUA, inclusive os empreendimentos de Westinghouse. Este passou a maior parte do ano de 1891 tentando salvar suas empresas e não pôde se dedicar, como de costume, à busca de inovações.

Nesse processo de saneamento financeiro acabou pedindo a Tesla que desistisse de seu contrato de *royalties* sobre as patentes referentes ao motor de indução. Este por sua vez, como era muito grato ao empresário por ele ter acreditado em seu potencial, resolver aceitar o pedido. Essa ação generosa se mostraria um grande erro, pois viria privá-lo dos enormes recursos financeiros que adviriam dessas invenções (JONNES, 2004).

A grande chance de mostrar o sistema de Tesla ocorreu em 1893, com a Feira Mundial de Chicago. Westinghouse venceu a dura disputa com a GE pelo contrato de implantação dos sistemas elétricos que iluminariam as exposições e realizou o projeto com base nos inventos de Tesla. Este por sua vez pôde

apresentar a um público fascinado seus experimentos com alta frequência em que ele se submetia a enormes campos elétricos sem sofrer nenhum dano.

Naturalmente os engenheiros sabiam que as exposições de Tesla baseavam-se em campos eletrostáticos com baixíssimas correntes, sem risco grave, mas o grande público se impressionou muito, o que contribuiu para a desmistificação da corrente alternada como algo ruim, como dito por Edison.

Em outra apresentação de destaque Westinghouse mostrava a visão de sua empresa sobre como deveria ser feita a integração das soluções de fornecimento de energia elétrica até disponíveis. Chamou a proposta de sistema universal e demonstrou como qualquer sistema de transmissão e qualquer tipo de carga já em operação poderia ser acoplado por uma planta elétrica baseada em corrente alternada polifásica.

Westinghouse não obteve lucro financeiro com o contrato da Feira de Chicago, mas alcançou seu objetivo de popularizar a corrente alternada junto aos engenheiros e público em geral. Este percebeu que os riscos alegados pelos opositores do sistema poderiam ser mitigados com projetos bem elaborados.

Para os engenheiros a percepção de que os sistemas antigos não precisariam ser descartados, que poderiam ser absorvidos bastando para isso o uso de conversores apropriados, eliminou as resistências técnicas (HUGHES, 1993).

Já as divergências econômicas decorrentes das disputas entre empresas começaram a ser reduzidas com fusões. Assim pode ser dito que, em 1893, na Feira de Chicago, o caminho para a vitória final da corrente alternada e consolidação das bases do sistema elétrico tinha sido definido, bastava ser trilhado. Isso ocorreria logo a seguir com o empreendimento elétrico mais espetacular até o momento: a usina hidrelétrica das Cataratas do Niágara (HUGHES, 1993).

A demanda de energia identificada e explorada por Edison no começo dos anos 1880 também foi percebida em diversos outros lugares. Provavelmente o mais notável deles era a região das Cataratas do Niágara, onde era evidente o enorme desperdício de energia.

Procurando explorar de alguma forma essa fonte natural, em 1882 alguns empreendedores começaram a utilizar rodas d'água para mover suas máquinas.

Essa invasão começou a preocupar o governo que, em 1885, transformou a região das cataratas em reserva ambiental, com rigorosas restrições de uso. Essa situação fez com que Thomas Evershed propusesse o desvio de parte das águas por um canal subterrâneo até locais onde pudessem ser instaladas as rodas d'água, preservando assim a beleza do local.

Essa obra seria imensamente cara e a empresa formada para realizar as escavações teve de recorrer ao capital dos banqueiros de Nova York. Através de William Rankine, um advogado que havia estudado na região, os empreendedores conseguiram apresentar o projeto a Francis Stetson, um dos advogados de J. P. Morgan. Este por sua vez colocou como condição que a obra fosse coordenada por Edward Dean Adams (JONNES, 2004).

Com a participação de Morgan, vários outros investidores ingressaram no projeto. Criou-se então a *Cataract Construction Company*, com Adams como presidente e Coleman Sellers, prestigiado engenheiro mecânico, como principal engenheiro.

Como se tratava de um empreendimento hídrico sem precedentes, Adams e Sellers recorreram a empresas suíças, pois estas tinham alguma experiência no assunto devido aos Alpes (JONNES, 2004).

Acabaram sendo convencidos por Charles Brown, engenheiro que fundaria a empresa Brown & Boveri, de que o melhor aproveitamento seria elétrico. Alteraram assim o plano original de instalar 238 rodas d'água e decidiram construir uma hidrelétrica, a maior do mundo (HUGHES, 1993).

Convidaram então as maiores empresas elétricas da época a fazerem propostas. Adams, no entanto decidiu entregar o projeto dos geradores para George Forbes, para ultraje das empresas que se acharam lesadas por terem apresentado segredos industriais em suas propostas.

O projeto de Forbes propunha frequência de operação em 13Hz, característica que foi contestada pela Westinghouse alegando que as lâmpadas apresentariam flutuações na iluminação. A proposta da empresa era operar em 30 ou 60Hz, mas acabaram refazendo o projeto para 25Hz.

Outra questão polêmica foi a espionagem industrial da GE sobre a Westinghouse. Esta tinha apresentado um projeto em corrente alternada com duas fases, conforme as patentes de Tesla. A GE apresentou uma proposta muito semelhante, porém com três fases para contornar possíveis conflitos de patentes.

Para contornar essa situação delicada, a GE ficou somente com o contrato do sistema de transmissão, cabendo à Westinghouse a parte principal do empreendimento: o projeto dos geradores (JONNES, 2004).

Essa vitória reforçou a posição já obtida na Feira de Chicago, da corrente alternada sobre a contínua. Tinha chegado ao fim a Guerra das Correntes Elétricas e estava definida a base do Sistema Elétrico.

Os eventos principais dessa épica história podem ser vistos na tabela 1.

Tabela 1: Eventos mais relevantes no processo de eletrificação
 Fonte: Elaboração própria a partir de Jonnes (2004), McPartland (2006) e Hughes (1993)

ANO	ATOR	EVENTO
600AC	Tales de Mileto (Grécia)	Observações sobre efeitos do âmbar
1600	William Gilbert (Ing)	Extensão dos estudos de Tales. Definição do termo <i>elektron</i> (âmbar)
1660	Otto von Guericke (Alem)	Gerador eletrostático (esfera de enxofre)
1709	Francis Hawksbee (Ing)	Gerador eletrostático (esfera de vidro)
1729	Stephen Gray (Ing)	Descoberta de que metais são condutores Transmissão de carga elétrica (200m)
1746	van Musschenbroek (Hol)	Armazenamento de eletricidade (garrafa de Leyden)
1780	Luigi Galvani (Ita)	Teoria da eletricidade animal
1780	Alessandro Volta (Ita)	Teoria da eletricidade metálica e invenção da Bateria.
1809	Humphry Davy (Ing.)	Invenção da iluminação por arco elétrico e contratação de Faraday
1820	Oersted/Ampère (Din/Fr)	Descoberta do eletromagnetismo
1821	Richard Phillips (Ing)	Convida Michael Faraday a escrever sobre eletricidade
1830	Joseph Henry (EUA)	Estudos sobre indutância e eletroímãs
1831	Michael Faraday (Ing)	Transformação de magnetismo em eletricidade. Protótipo do dínamo.
1866	Zéno Gramme (Bel)	Dínamo comercial com eletroímãs.
1876	Paul Jablochhoff (Rus)	Iluminação comercial com arco elétrico
1876	Moses Farmer & William Wallace (EUA)	Produção de dínamos e iluminação comercial com arco elétrico
1878	Charles Brush (EUA)	Iluminação comercial com arco elétrico
1878	George Barker (EUA)	Barker leva Edison para visitar fundição Wallace e este decide entrar no ramo da iluminação
1878	Thomas Edison (EUA)	Invenção da lâmpada com filamento com alta resistência elétrica
1878	Thomas Edison (EUA)	Criação da Edison Electric Light Company para viabilizar aperfeiçoamentos da lâmpada
1879	Thomas Edison (EUA)	Sistema de transmissão com corrente contínua em Menlo Park
1880	Charles Brush (EUA)	Criação da Brush Electric Company
1880	Thomas Edison (EUA)	Criação da Edison Electric Illuminating Company para viabilizar a implantação da iluminação por lâmpada com filamento em Manhattan
1881	Thomas Edison (EUA)	Edison obtém autorização para instalação da rede subterrânea em Manhattan
1882	Thomas Edison (EUA)	Edison Electric Illuminating Company inaugura a primeira estação distribuidora em corrente contínua (Pearl Street)
1881	Gaulard&Gibbs (Ing.)	Criação do gerador secundário
1883	Elihu Thomson (EUA)	Criação da American Electric Company
1883	Charles Coffin (EUA)	Compra a American Electric e renomeia a empresa para Thomson-Houston.
1884	Westinghouse (EUA)	Contratação de William Stanley
1885	Elihu Thomson & Edwin Houston (EUA)	Thomson-Houston Electric Light Company
1885	Westinghouse (EUA)	Lê sobre o gerador secundário de Gaulard e Gibbs no periódico inglês <i>Engineering</i>
1885	Westinghouse (EUA)	Encomenda um gerador secundário de Gaulard e Gibbs. Aquisição das patentes do gerador secundário de Gaulard e Gibbs
1885	Westinghouse & Stanley (EUA)	Melhoramentos nas ideias de Gaulard e Gibbs. Criação do transformador moderno
1886	Westinghouse (EUA)	Cria Westinghouse Electric Company para explorar AC
1885	Westinghouse (EUA)	Aquisição das patentes do gerador secundário de Gaulard e Gibbs
1886	Westinghouse & Stanley (EUA)	Protótipo da linha AC em Great Barrington
1886	Westinghouse & Stanley (EUA)	Linha AC comercial em Buffalo
1888	Harold Brown (EUA)	Devido a diversos acidentes com choques elétricos o jornal New York Evening Post ataca as redes de iluminação por arco elétrico (que funcionam em AC) e alarma a população
1889	Charles Coffin (EUA)	Thomson-Houston adquire a Brush
1889	Henry Villard (EUA)	Unificação das empresas de Edison na Edison General Electric
1892	Charles Coffin, Henry Villard & JP Morgan (EUA)	Thomson-Houston e Edison General Electric formam a GE, Charles Coffin assume a presidência. Edison é preterido e afasta-se do processo de eletrificação
1893	Westinghouse & Tesla (EUA)	Participação na Feira de Chicago
1893	Westinghouse (EUA)	Vence disputa para construção da usina das Cataratas do Niágara
1895	Westinghouse & GE (EUA)	Usina das Cataratas do Niágara entra em operação

1.4 Cenário atual

A expansão de eletrificação se deu com grande rapidez no transcurso do século XX. Com o aumento da demanda e com os adventos das Guerras Mundiais, as engenharias passaram a dispor de grandes recursos financeiros e humanos para novos desenvolvimentos⁹.

Surgiram então novas formas de geração de energia elétrica, porém quase todas baseadas na transformação de energia mecânica rotativa, especialmente a partir de fontes térmicas. Nas figuras 1 e 2 pode ser visto a evolução recente dessas fontes, em distribuição percentual e em kWh, respectivamente.

A despeito da enorme ênfase dada às energias renováveis percebe-se que essas fontes ainda não são muito significantes em termos de participação global. As fontes principais ainda continuam sendo as tradicionais, sem indicação de mudança no curto prazo, a despeito da preocupação da Sociedade com os aspectos ambientais e dos imensos investimentos governamentais para redução das emissões de dióxido de carbono.

Alinhada também com a busca pela geração elétrica de baixa emissão de carbono encontrava-se a retomada do setor nuclear, com os reatores de terceira e quarta gerações, muito mais seguros e compactos. Porém com o acidente nuclear japonês devido ao *tsunami* em 2010 o mundo se viu diante de um cenário amedrontador e preocupante. Esse triste episódio abalou fortemente a retomada nuclear e abriu caminho para o avanço das fontes térmicas tradicionais, especialmente o carvão e o gás natural.

9 Segundo o World Bank (2013) em 2009 cerca de três quartos da população mundial eram usuárias regulares de eletricidade. Esse número deverá estar próximo da totalidade da população em menos de 50 anos

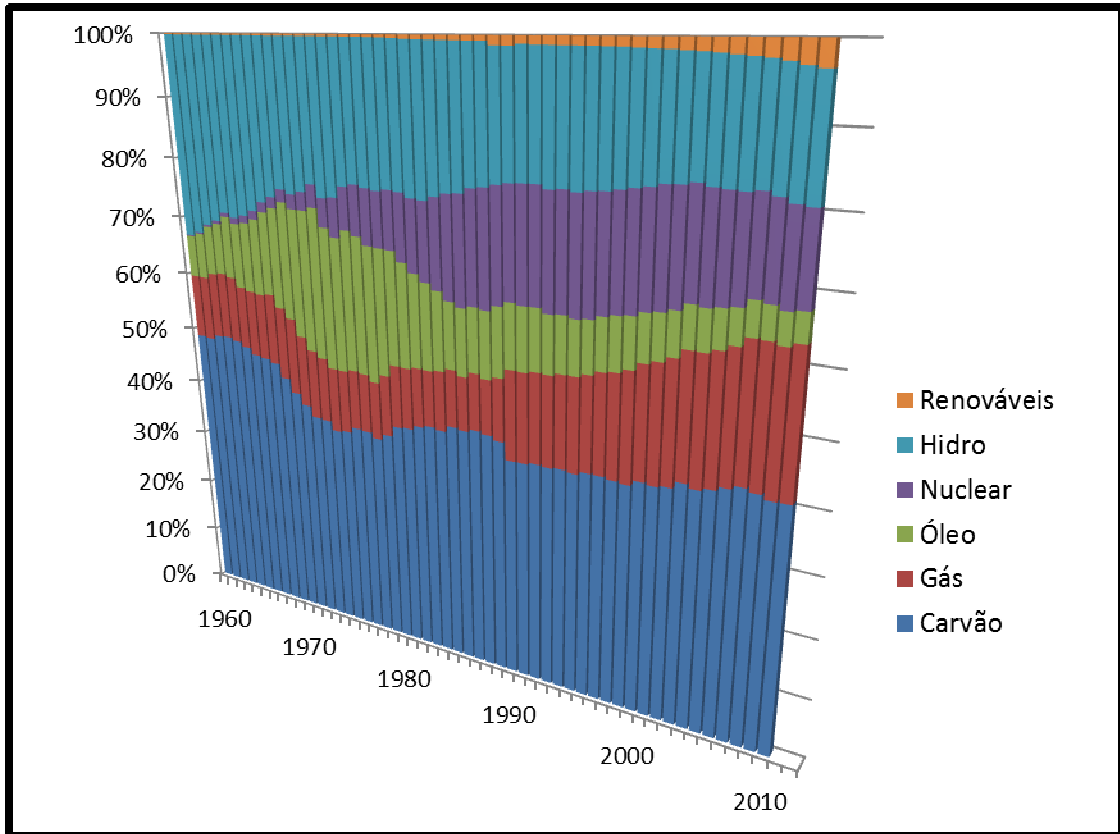


Figura 1: Distribuição percentual das fontes de energia elétrica no mundo
 Fonte: Elaboração própria com dados do *World Bank* (2013)

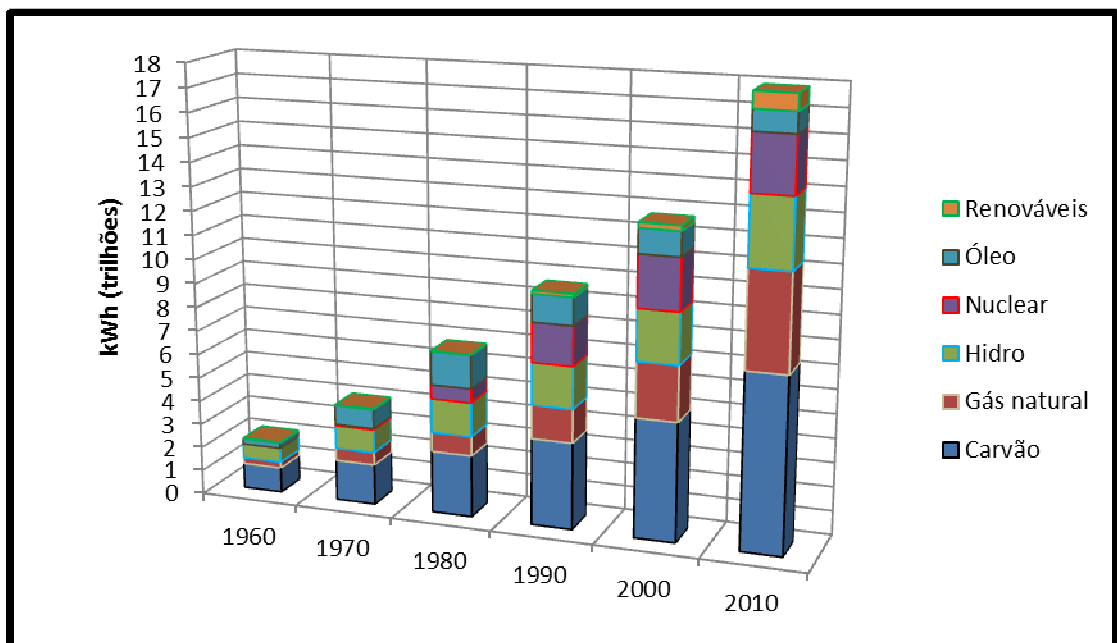


Figura 2: Evolução recente das fontes de energia elétrica no mundo
 Fonte: Elaboração própria com dados do *World Bank* (2013)

Em resumo, desconsiderando as melhorias devidas aos avanços nos sistemas computacionais e de telecomunicações, o cenário técnico atual da geração e transmissão de energia elétrica mostra-se, em linhas gerais, sem grandes novidades mesmo se comparado há cinquenta anos¹⁰. Mas será que essa característica inercial se manterá indefinidamente no futuro?

¹⁰ O desenvolvimento dos elos *High Voltage Direct Current* (HVDC) é importante excessão a essa quase ausência de disrupturas tecnológicas. Essa tecnologia permite transmissão de energia elétrica em alta tensão por grandes distâncias, porém em corrente contínua. A transformação é feita por sistemas específicos bem mais complexos que os transformadores tradicionalmente utilizados na corrente alternada.

2 Estudo de futuro

O desejo de saber o futuro acompanha o Homem desde a formação das primeiras civilizações, porém somente com a consolidação dos sistemas de patentes na segunda metade do século XIX é que foi possível a publicação de tendências tecnológicas, como a que a revista *Scientific American* realiza desde 1845 (ANDERSON, 2013).

Em um viés menos especializado, os avanços técnicos decorrentes da Revolução Industrial, especialmente em maquinários, meios de transporte, iluminação e telecomunicações semearam a imaginação de escritores como Júlio Verne e H. G. Wells e criaram condições para um mercado editorial com foco no leitor comum interessado em novidades tecnológicas (PIO 2004). A revista mensal *Popular Science*, fundada em 1872, cumpre esse papel até hoje (ANDERSON, 2013).

No início do século XX, a Revolução Russa, a Primeira Guerra Mundial e a grande depressão econômica dos EUA deixaram claro que planejamentos de médio e longo prazos devem ser feitos para que a ordem social seja mais perene. Essa percepção foi muito ampliada imediatamente após a Segunda Guerra Mundial, influenciando na reconstrução da Europa, então a grande prioridade mundial.

Diante dos recursos necessários à essa imensa tarefa, em 1944 foi fundado o *World Bank* e, em 1948, a *Organisation for European Economic Co-operation* (OEEC). Essa última se transformou, em 1961, na *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD). Dados do *World Bank* (2013) e da OECD (2013) aparecerão mais adiante nesse trabalho.

Esse foi um momento de transição em todos os aspectos na humanidade, principalmente nas questões militares. Cristo (apud SCHENATTO, 2011) enfatiza que a formação de dois grandes blocos antagônicos¹¹ com poder destrutivo sem precedentes exigia maior percepção das possibilidades futuras.

Com esse intuito, em 1946 foi criada a RAND¹² *Corporation*, empresa formada a partir da Força Aérea dos EUA e a empresa de aviação *Douglas Aircraft*. Seu foco era o futuro da tecnologia militar, mas suas metodologias¹³ foram muito importantes para o desenvolvimento de outros campos dos estudos de futuro (ALENCAR, 2008).

Esse foco nas questões militares vinha incomodando alguns pensadores que, como resposta, durante a década de 1960 fundaram grupos para reunir aqueles que se preocupavam com o futuro do Homem em diversos outros aspectos. Questões como explosão populacional, degradação ambiental, violência e fome passaram a compor também a pauta dos estudos de futuro (ANDERSON, 2013).

Nas décadas de 1970 e 1980, esses grupos se consolidaram em suas respectivas linhas filosóficas e de interesse e geraram diversas publicações que deram corpo teórico mais formal e sinalizaram com mais clareza as perspectivas da humanidade.

No início dos anos 1990 já existiam diversas empresas e consultores especializados em estudos de futuro. Uma das organizações fundadas na década de 1960, a *World Future Society*, contava com 1200 profissionais atuando no setor, mostrando que a maturidade tinha sido alcançada (ANDERSON, 2013).

Em 1990 a OECD iniciou o *International Futures Programme* e passou a disponibilizar ferramentas para elaboração de cenários e análise de tendências. Os

¹¹ EUA vs URSS

¹² *Research and Development*

¹³ Em especial o método Delphi. Neste método um conjunto de especialistas compartilham suas visões de futuro através de questionários de perguntas. As informações coletadas vão sendo refinadas durante várias rodadas até que haja convergência.

grupos de trabalhos reunidos em torno dessa organização desenvolveram ampla variedade de estudos como, por exemplo, sobre o futuro do dinheiro, da família, da economia global, da indústria espacial, da alimentação, do transporte aéreo, da exploração dos oceanos, da segurança cibernética, da saúde, da agricultura e, é claro, da energia (OECD, 1999).

O volume de produção de estudos de futuro de uma entidade imensamente influente como a OECD é indicador conclusivo do quanto esse tipo de análise está sendo considerada importante para o planejamento das organizações e, até mesmo, das nações.

Apesar da complexidade inerente à tarefa de visualizar o futuro, os conceitos fundamentais são simples. Acima de tudo assume-se que não há um futuro, mas sim muitos futuros alternativos em potencial. Joseph Voros (VOROS, 2001) deixa isso claro ao confirmar as palavras de Ray Amara, ex-presidente do *Institute for the Future*. Este dizia que os múltiplos futuros fundamentam-se em três premissas:

- O futuro não é predeterminado – Pelo Princípio da Incerteza os processos físicos mais fundamentais do Universo são inerentemente indeterminados, fazendo com que os eventos macroscópicos que compõem a História também o sejam.
- O futuro não é previsível – Mesmo que o futuro fosse predeterminado e que se conseguisse um modelo para prevê-lo, a quantidade de informação e a precisão necessária tornam essa tarefa inviável.
- O futuro pode ser influenciado pelas opções do presente – Apesar da impossibilidade da previsão, as ações do presente afetam o desenrolar dos fatos, alterando o futuro.

Voros também concorda que essas premissas moldam quatro tipos de futuro:

- Futuro possível - englobam tudo que se possa imaginar, mesmo as ideias que transgridem as leis naturais atualmente aceitas, pois essas podem ser revistas a partir de conhecimentos que ainda não estão disponíveis.
- Futuro plausível - são aqueles que se baseiam no conhecimento atualmente disponível e no entendimento corrente sobre as leis naturais.
- Futuro provável - são extrapolações lineares do presente, continuidades das tendências atuais. No entanto tipicamente as tendências em algum momento acabam sendo interrompidas e substituídas por outras.
- Futuro preferível – é aquele que se deseja que aconteça e que norteará as ações presentes. Pode começar como meramente possível e, a partir de ações, pesquisas e investimentos específicos pode se tornar provável e vir a acontecer¹⁴.

Foi baseada nessa crença em múltiplos futuros e na possibilidade de se forjar o futuro desejável que a empresa anglo-holandesa *Royal Dutch Shell plc*, em 1969, a partir da metodologia de construção de cenários, considerou a possibilidade da crise no Oriente Médio e passou a explorar campos petrolíferos no Mar do Norte (SCHENATTO, 2011). Essa ação estratégica inusitada não só salvou as finanças da empresa na década de 1960 como a colocou entre as líderes do setor (ALENCAR, 2008).

¹⁴ Voros cita como exemplo o caso do homem na Lua, que começou como mero desejo do governo dos EUA.

Esse sucesso consolidou o campo de estudos de futuro dentro da empresa e seus relatórios anuais são acompanhados globalmente desde então. Em seu último estudo de futuro, a Shell (2013) prevê para 2060 um crescimento populacional da ordem de 40%, com aumento expressivo da parcela urbana (figura 3). Esse aumento populacional será acompanhado de melhorias nos padrões de vida, resultando em enorme aumento de consumo de energia elétrica.

Em uma tendência mais conservadora, o poder será mantido nas mãos atuais, sem grandes rupturas no *status quo*. Nesse cenário espera-se um aumento de consumo de energia elétrica da ordem de 180% em 2060, em comparação a 2010 (figuras 4 e 5). Na tendência não conservadora uma nova ordem política e econômica surgirá, com descentralização do poder. Nessa condição o aumento do consumo será de 280% (figuras 4 e 6).

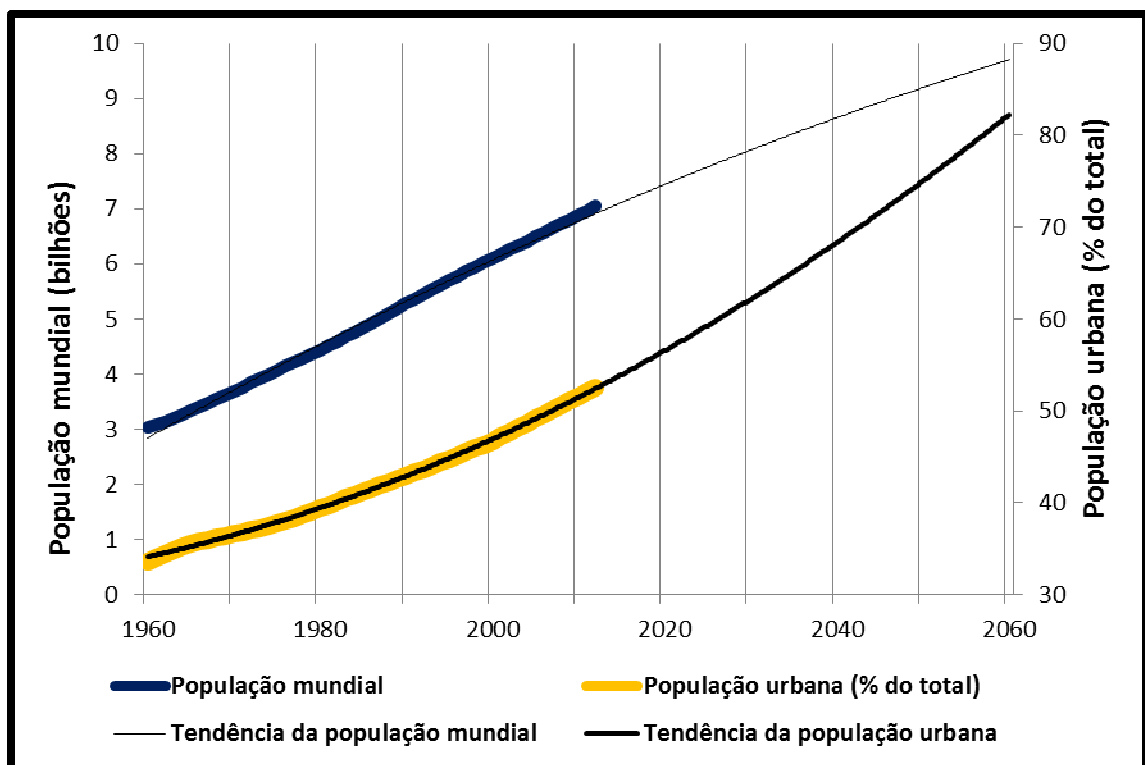


Figura 3: Crescimento da população mundial
 Fonte: Elaboração própria com dados do *World Bank* (2013) e *Shell* (2013)

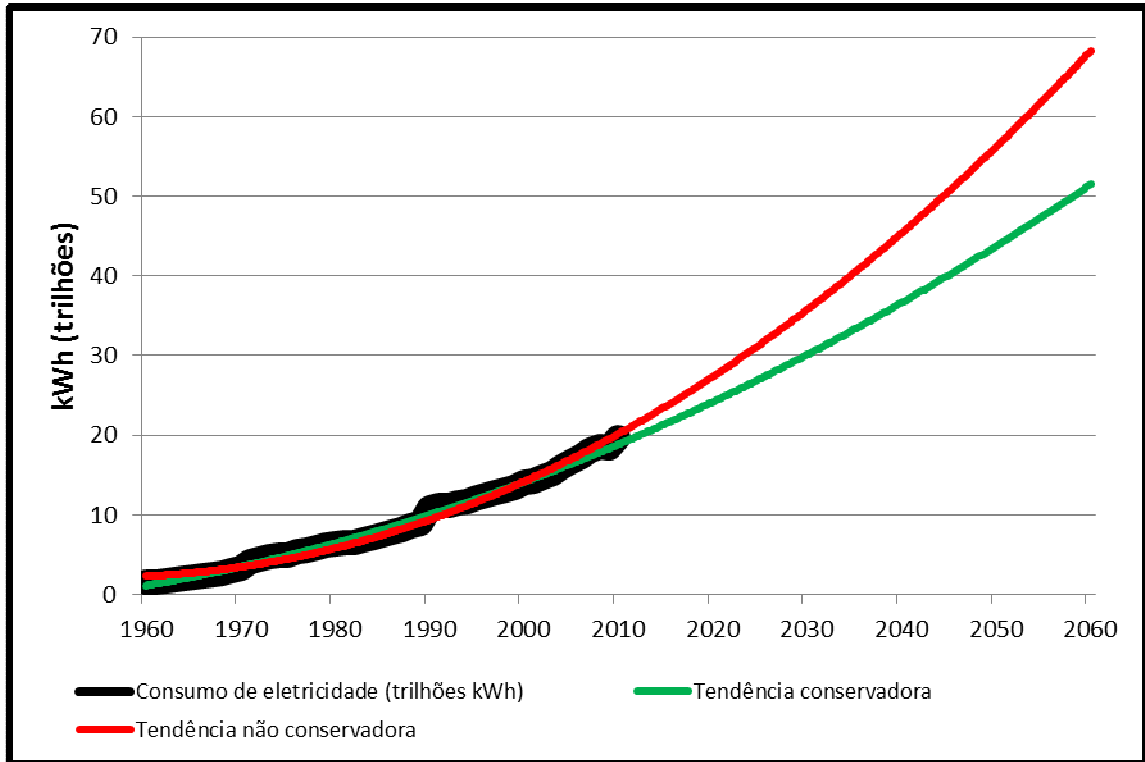


Figura 4: Evolução do consumo de eletricidade no mundo
 Fonte: Elaboração própria com dados do *World Bank* (2013) e *Shell* (2013)

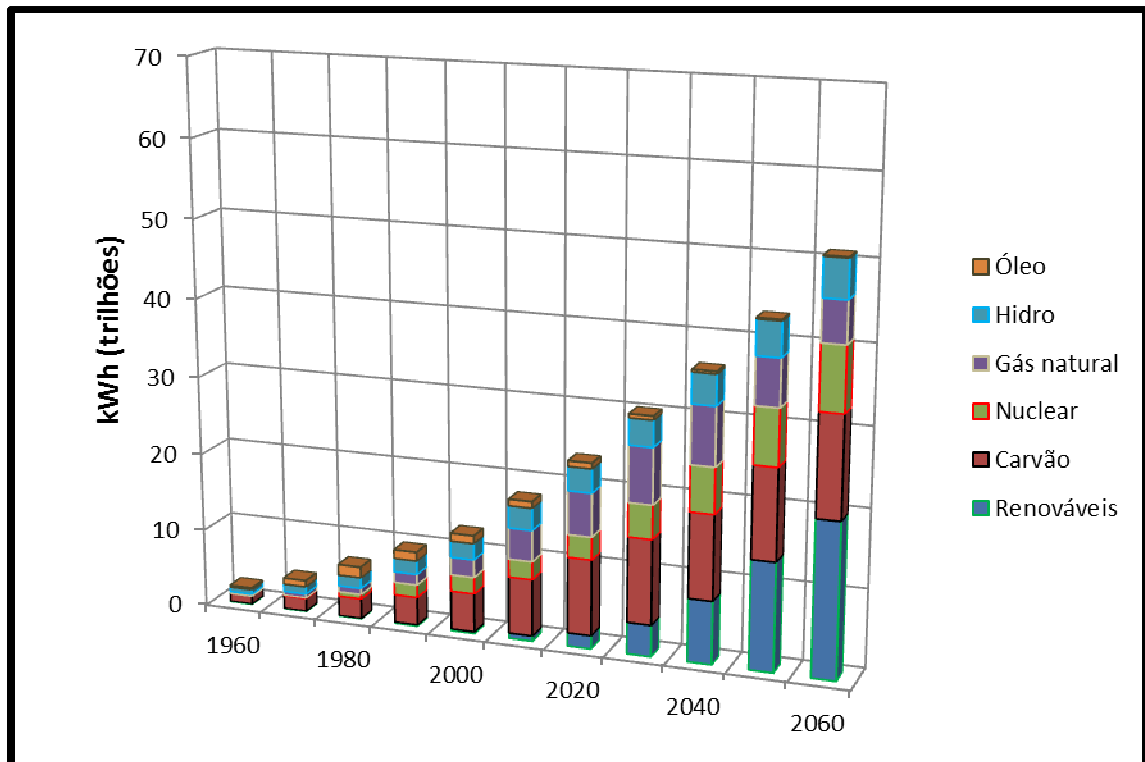


Figura 5: Projeção conservadora das fontes de energia elétrica no mundo
 Fonte: Elaboração própria com dados da *Shell* (2013)

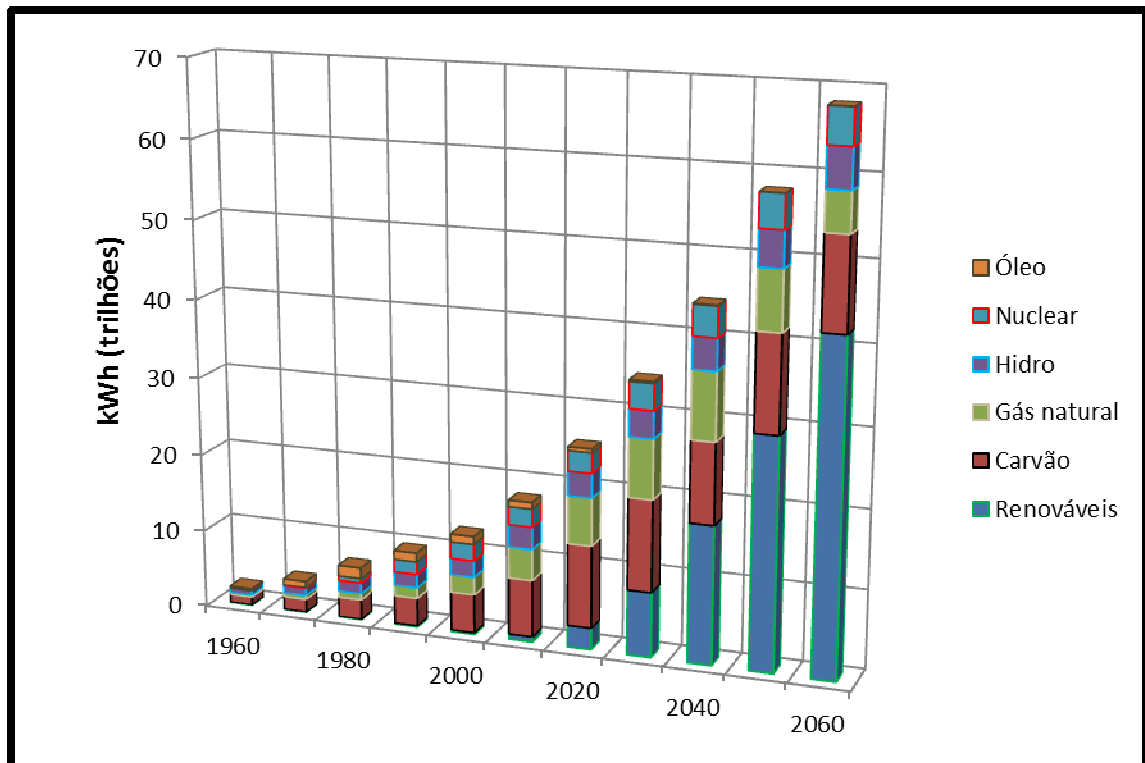


Figura 6: Projeção não conservadora das fontes de energia elétrica no mundo
 Fonte: Elaboração própria com dados da Shell (2013)

Esses dados sugerem que, nas próximas décadas, a situação energética global evoluirá para um contexto onde prevalecerá a alta densidade populacional e a necessidade do transporte de blocos cada vez maiores de energia para os grandes centros urbanos.

Segundo o estudo de futuro da Shell (2013) as energias renováveis só começarão a ser expressivas na matriz elétrica global a partir da década de 2030. Até lá o predomínio continuará sendo das fontes térmicas tradicionais.

E mesmo após a ascensão das fontes renováveis, as fontes térmicas tradicionais ainda permanecerão muito relevantes na matriz. Obviamente essa não é uma perspectiva desejável, especialmente do ponto de vista ambiental, de forma que todo estudo que busque formas de aperfeiçoamento nas tecnologias tradicionais e formas de redução de consumo dessas fontes será muito bem vindo.

Importante ressaltar que, dentre as fontes renováveis consideradas no estudo da Shell, não está incluída a fusão do hidrogênio. Essa fonte, caso desenvolvida de forma economicamente viável, disporia de ilimitada quantidade de combustível e não produziria resíduos poluentes em quantidades preocupantes.

Suas óbvias vantagens, porém não foram suficientes para alavancar o imenso capital necessário para desenvolvimentos relevantes e, apesar de ter sido considerada promissora nas décadas de 1980-1990 por importantes cientistas da área, como o prêmio Nobel de Física Carlo Rubbia (RUBBIA, 1989), atualmente essa fonte de energia elétrica não é tida como comercialmente viável em um horizonte razoável.

Diante disso, torna-se claro que devem ser buscados no presente os meios de se redirecionar essa perspectiva futura, uma vez que ela não é desejável. Dito de outra forma deve-se buscar o futuro preferível. Para isso, deve-se investigar tecnologias que tenham perspectivas de grandes avanços nas próximas décadas.

Tais tecnologias são ditas portadoras de futuro. Entre elas encontram-se: biotecnologia, software, eletrônica e optoeletrônica, novos materiais, energia renovável, biocombustíveis e nanotecnologia (BRASIL, 2003). Esta última será aqui investigada, especialmente quanto ao seu potencial de uso no Setor Elétrico.

Cabe citar que, em seu conhecido livro *Profiles of the Future* (CLARKE, 1970), escrito em 1962 e revisto em 1973, o conhecido escritor Arthur C. Clarke, um dos maiores visionários do século XX, considera tecnologias extraordinárias como a fusão do hidrogênio como possibilidades técnicas, mas não menciona nada semelhante à nanotecnologia.

Essa é mais uma evidência de como o Futuro pode ser inesperado, e de quão valiosos os Estudos de Futuro podem se tornar para o planejamento da Sociedade.

2.1 Nanotecnologia

A nanotecnologia é a tecnologia no nível molecular, onde a física clássica dá lugar à física quântica fazendo surgir efeitos surpreendentes e que transcendem o esperado pela mera redução do tamanho. Ela cobre itens que possuam partes funcionais com menos de 100nm em pelo menos uma dimensão. Abrange também métodos de controle, manipulação, processamento, fabricação ou medição com precisão menor que 100nm. O termo foi cunhado por Norio Taniguchi em 1974 em um artigo sobre técnicas de fabricação de materiais de alta precisão¹⁵ (TANIGUCHI, 1974).

A primeira abordagem ao assunto remonta ao pós-guerra norte-americano, nos pensamentos visionários de Richard Feynman, expressos em sua famosa palestra *There's Plenty of Room at the Bottom*. Nesse trabalho Feynman levantou a possibilidade de manipulação de átomos para construção de máquinas miniaturizadas (*tiny machines*) e chamou a atenção para as potencialidades em armazenamento de dados e computação.

A despeito da riqueza dada por Feynman ao assunto, sua enorme fama e reputação¹⁶ e a divulgação em revistas populares, essas idéias não causaram efeitos práticos, mesmo com desafios às universidades e prêmios em dinheiro. Nos vinte anos seguintes somente três trabalhos citaram Feynman, sendo um deles depreciativo.

¹⁵ Segundo Taniguchi: "Nano-technology is the production technology to get the extra high accuracy and ultra fine dimensions, i.e. the preciseness and fineness on the order of 1 nm (nanometer). The name of 'Nano-technology' originates from this nanometer. In the processing of materials, the smallest bit size of stock removal, accretion or flow of materials is probably of one atom or one molecule namely 0.1~0.2 nm in length. Therefore, the expected limit size of fineness would be of the order of 1 nm. Accordingly, 'Nano-technology' mainly consists of the processing of separation, consolidation and deformation of materials by one atom or one molecule."

¹⁶ Feynman era famoso por ministrar palestras que tornavam claros os assuntos mais obscuros da Física. Trabalhou de forma secundária no desenvolvimento da bomba atômica (Projeto Manhattan). Recebeu o Prêmio Albert Einstein (1954) por seus trabalhos na teoria quântica da eletricidade e magnetismo e o Prêmio Nobel de Física (1965) por suas contribuições à eletrodinâmica quântica.

Essa tendência ao esquecimento se inverteu em 1979. O então aluno de mestrado Eric Drexler vinha desenvolvendo processos para deposição de filmes metálicos ultrafinos para uso em navegação espacial. Esse trabalho o envolveu na busca de material sobre o que hoje se chama nanotecnologia molecular (MNT) e, ao encontrar o texto de Feynman, ficou fascinado com as possibilidades e decidiu se aprofundar no assunto. Em 1981 (DREXLER, 1981), publicou um artigo surpreendente que evoluiu para um trabalho de grande envergadura publicado em 1985 (DREXLER, 1986) e que provocou grande aumento de visibilidade ao assunto.

Um ano após esse sucesso Drexler fundou, nos EUA, o *Foresight Institute*¹⁷ para fomentar o avanço benéfico da nanotecnologia¹⁸. Atualmente essa é a maior sociedade civil envolvida no setor. Em 1991 Drexler terminou seu doutorado, o primeiro no mundo em nanotecnologia (DREXLER, 1991) e, em seguida, ampliou seus estudos e publicou mais um livro para o grande público¹⁹ (DREXLER, 1992).

Feynman por sua vez só veio a retornar ao tema em 1983 e mesmo assim de forma pontual. Nessa nova versão de suas reflexões ele ampliou sua visão inicial incluindo aspectos mais concretos relacionados a semicondutores. Mas novamente não causou impacto técnico.

As abordagens de divulgação de Feynman e Drexler não foram as únicas linhas de investigação. De fato a nanotecnologia só começou a tomar forma mais nítida no transcurso da década de 80. Nesse período as pesquisas da *IBM Corporation* sobre novos tipos de microscópios com resolução atômica demonstraram a possibilidade de manipulação individual de átomos²⁰.

¹⁷ www.foresight.org

¹⁸ No original em inglês: *advancing beneficial nanotechnology*.

¹⁹ Premiado pela *Association of American Publishers* como melhor livro do ano em Ciência da Computação.

²⁰ Os cientistas da IBM Heinrich Rohrer e Gerd Binnig desenvolveram o microscópio de varredura por tunelamento (*Scanning Tunneling Microscope – STM*) em 1981 e, por este trabalho, ganharam o Prêmio Nobel de Física em 1986. Em 1985 Gerd Binnig, Calvin Quate e Christoph Gerber inventaram o microscópio de força atômica (*Atomic Force Microscope - AFM*). Em 1989 Donald Eigler e Erhard Schweizer, também da IBM, utilizaram um STM para escrever o nome da empresa em uma superfície de níquel utilizando 35 átomos de xenônio.

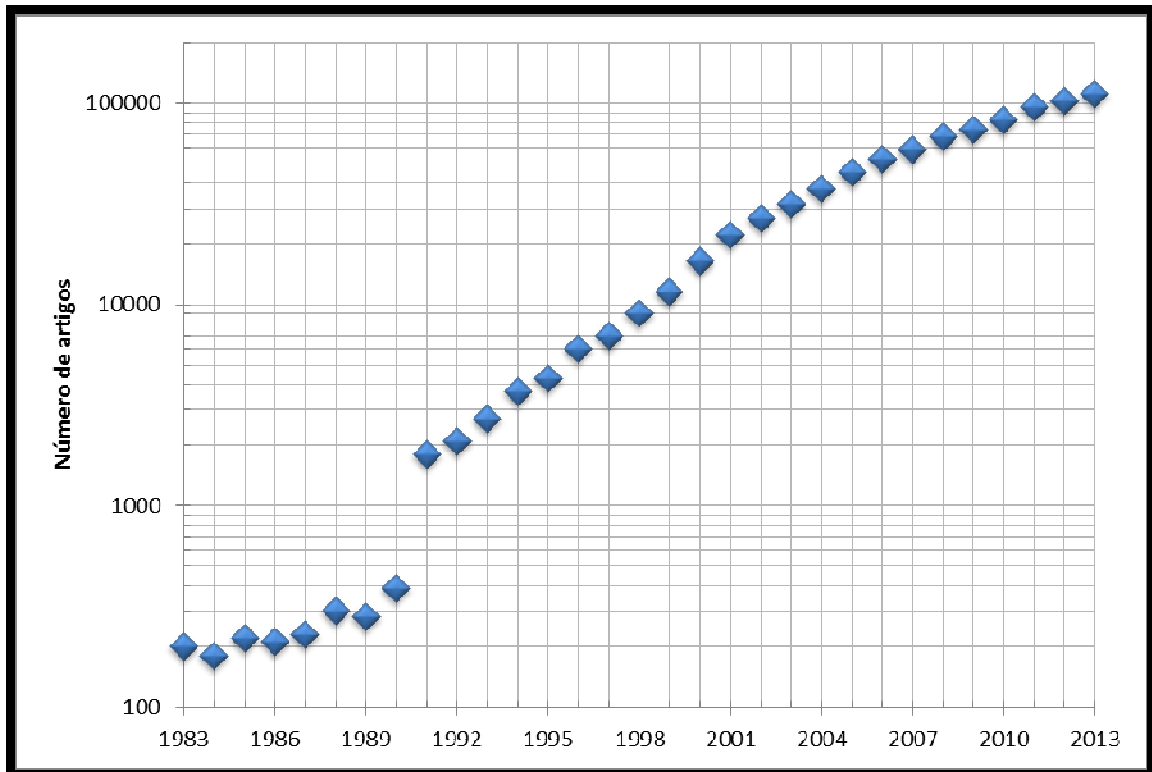
Foi também nessa época que ocorreram as descobertas de novos tipos de moléculas de carbono com propriedades inéditas e com grande potencial de aplicações.

Nos anos 90 ficou claro que o potencial da nanotecnologia tinha dimensões de uma nova revolução técnica. Uma pesquisa realizada pelo Departamento de Energia dos EUA (KAISER, 2006) utilizou a base de dados *ISI Web of Science* para mostrar que as publicações de artigos técnicos em nanotecnologia e nanociência aumentaram significativamente de volume a partir de 1991, evidenciando o despertar desse campo (figura 7).

Segundo Kaiser (2006) esse fenômeno decorreu da conjugação de quatro fatores complementares: novos pesquisadores, novos instrumentos, novas descobertas e a popularização do termo “nano”.

O crescimento do número de patentes concedidas nesse período também foi exponencial, como mostra um estudo patrocinado pela *National Science Foundation* (XIN 2007) e que analisou os dados dos escritórios de patentes dos EUA (*United States Patent and Trademark Office - USPTO*), Europa (*European Patent Office - EPO*) e Japão (*Japan Patent Office - JPO*) no período de 1974 a 2004 (figura 8).

Em termos absolutos as quantidades não foram expressivas, sinalizando grande potencial de P&D no setor. Porém esse contexto alterou-se radicalmente nos últimos anos. Atualmente tanto a quantidade de depósitos quanto de patentes concedidas são imensamente superiores aos observados na década passada (INIT, 2014).



Obs.: Artigos presentes na base de dados *ISI Web of Science*.

Figura 7: Quantidade de artigos sobre nanotecnologia e nanociência
 Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Kaiser (2006) e da INIC (2014)

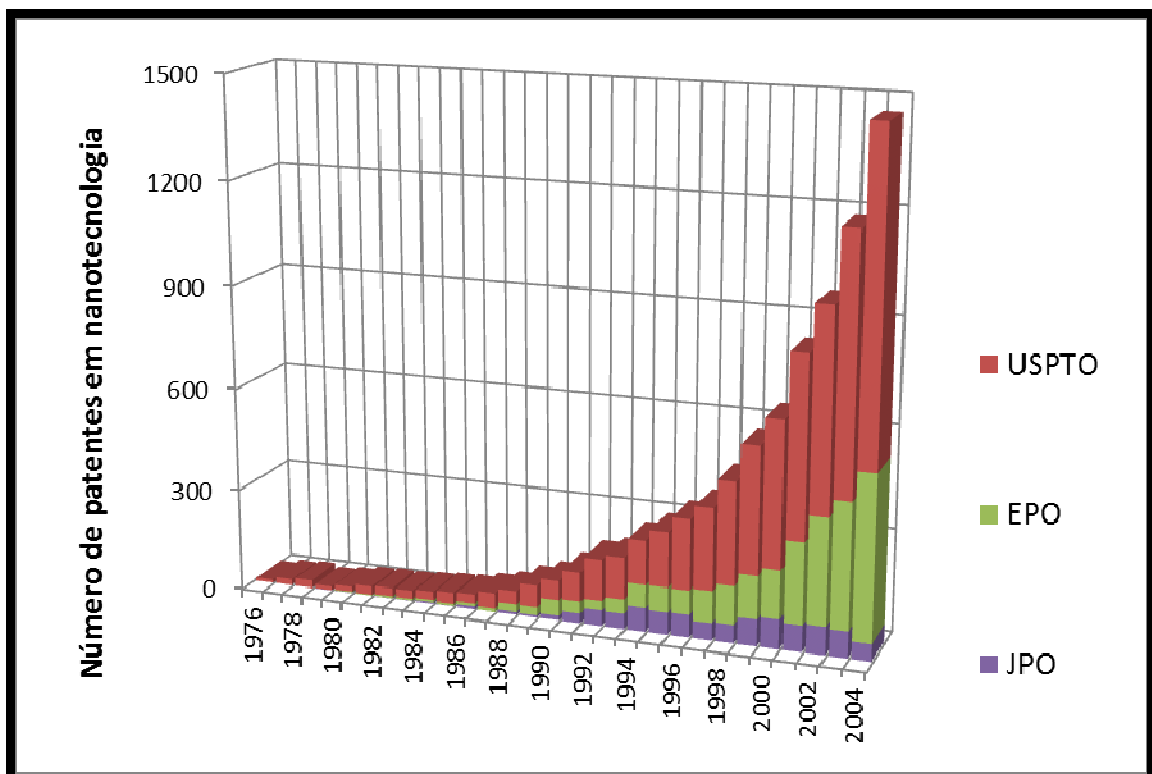


Figura 8: Quantidade de patentes concedidas em nanotecnologia
 Fonte: Elaboração própria a partir de dados de XIN (2007)

Esse cenário despertou o interesse do governo dos EUA que, em 1998, através do The White House's National Science and Technology Council formou um grupo de trabalho em nanotecnologia. Este evoluiu para a National Nanotechnology Initiative (NNI), lançada em 2001 como esforço de coordenação para o novo ambiente competitivo que estava surgindo (NNI, 2013).

Reação semelhante ocorreu em 2002 na União Européia com o lançamento do Nanoforum²¹ cujo objetivo era divulgar junto ao público as vantagens e os riscos do novo segmento. A partir daí os avanços na área começaram a se tornar expressivos e, atualmente, mais de 60 países possuem iniciativas estratégicas semelhantes.

O Brasil inicialmente reagiu rápido e estabeleceu uma política de nanotecnologia em 2001 e, em 2004 começaram a ocorrer ações mais concretas. Nesse ano, através da Portaria nº 614, o Ministério da Ciência e Tecnologia instituiu a Rede BrasilNano como “um dos elementos do Programa Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia, no âmbito da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior” (BRASIL, 2004).

Essa estrutura de pesquisa foi concebida para, através de redes colaborativas, cobrir os seguintes temas:

- Simulação e modelagem de nanoestruturas
- Nanofotônica
- Nanobiotecnologia e Sistemas Nanoestruturados
- Revestimentos Nanoestruturados
- Microscopias de varredura de sondas
- Nanotubos de Carbono: ciência e aplicações
- Nanoglicobiotecnologia
- Nanotecnologia molecular e de interfaces
- Nanobiomagnetismo
- Nanocosméticos: do conceito às aplicações tecnológicas

²¹ www.nanoforum.org

Esse Programa vem evoluindo desde então e atualmente abrange dezenas de laboratórios em todo o país. Apesar disso não se observa até hoje no Brasil²² esforço específico para investigação do uso da nanotecnologia no Setor Elétrico. Os interesses estão mais relacionados à saúde (fármacos, alimentos, cosméticos e métodos terapêuticos) e a novos materiais de uso geral (BRASIL, 2008).

Essa realidade não é exclusiva do Brasil. Por exemplo, os planejamentos estratégicos norte-americanos só abordam de forma mais explícita os sistemas elétricos quando definem metas para o desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos e das Células a Combustível²³ (NSTC, 2011).

Grandes avanços também vêm ocorrendo em eletrônica e optoeletrônica fazendo com que parte da utilização da nanotecnologia ocorra de forma passiva, por simples atualização dos sistemas de computação, automação e telecomunicações. Nesse aspecto deve haver acompanhamento da evolução dos equipamentos de forma que as novas aquisições incorporem as características mais interessantes.

Para as outras áreas de interesse do Setor Elétrico a busca por melhorias com base na nanotecnologia deve ser mais ativa, através de estudos de futuro como o apresentado neste trabalho.

Uma das formas de realizar isso é através de técnicas de prospecção tecnológica.

²² Essa dissertação foi defendida no INPI, Rio de Janeiro, Brasil, em março de 2014.

²³ Em inglês, no original: *Fuel Cells*.

2.2 Prospecção tecnológica

Segundo Cuhls e Grupp (apud SCHENATTO, 2011), a prospecção pode ser definida como:

Processo que se ocupa de procurar, sistematicamente, examinar o futuro de longo prazo da ciência, da tecnologia, da economia e da sociedade, com o objetivo de identificar as áreas de pesquisa estratégica e as tecnologias genéricas emergentes que têm a propensão de gerar os maiores benefícios econômicos e sociais.

Schenatto (2011) afirma em seu levantamento bibliográfico sobre estudo de futuro que a tecnologia é o principal interesse dos estudos prospectivos. Cita então algumas definições de prospecção tecnológica. Segundo Coates (apud SCHENATTO, 2011) prospecção tecnológica é o estudo que tem por objetivo: “antecipar e entender as potencialidades, evolução, características e efeitos das mudanças tecnológicas, particularmente sua invenção, inovação, adoção e uso”.

Já segundo Kupfer e Tigre (apud SCHENATTO, 2011), prospecção tecnológica é “o meio sistemático de mapear os desenvolvimentos científico e tecnológico futuros, capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, economia ou sociedade”.

Nesse trabalho a prospecção tecnológica foi feita no campo da nanotecnologia e com o objetivo de identificar influências no Setor Elétrico. Como fontes de informação foram utilizados documentos de patente.

2.3 Prospecção em documentos de patente

Os depósitos de pedidos de patente são realizados localmente em cada país onde haja interesse de proteção. Para facilitar a recuperação de informações, seja por examinadores dos escritórios de patentes para avaliação do estado da técnica, seja por pesquisadores de qualquer área, inclusive de estudos de futuro, todo documento deve ser enquadrado no que se denomina Classificação Internacional de Patentes (CIP).

A CIP (INPI, 2013) é uma estrutura hierárquica simbólica que enquadra as patentes nas categorias a que elas pertencem. Foi definida em 1971 pela *World Intellectual Property Organization* (WIPO), órgão da Organização das Nações Unidas.

Como a tecnologia é dinâmica, esse sistema sofre atualizações, sendo uma delas a inclusão, em 1999, de uma classe específica para nanotecnologia. As sessões da CIP podem ser vistas na tabela 2.

A característica local do registro faz com que toda investigação baseada nesse tipo de documento seja tão mais abrangente quanto maior for a quantidade de países investigados.

Buscas realizadas em bases de dados de acesso gratuito como as dos escritórios de patente dos EUA e da Europa já dariam boa cobertura à nanotecnologia, porém, por questões de disponibilidade optou-se pela utilização do sistema comercial *Derwent Innovations Index*, disponível no Portal Capes (capes.gov.br).

Essa plataforma consolida dados de patentes concedidas e pedidos de patente depositados em 47 países e conta, atualmente, com cerca de 23 milhões de documentos.

Tabela 2: Seções da Classificação Internacional de Patentes (CIP)
Fonte: INPI (2013)

Seção	Escopo
A	Necessidades Humanas
B	Operações de processamento; Transportes
... B82	Nanotecnologia
C	Química; Metalurgia
D	Tecidos; Papéis
E	Construções fixas
F	Engenharia mecânica; Descargas atmosféricas; Aquecimento; Armas; Explosivos
G	Física
H	Eletricidade

Obs: As seções de interesse estão em itálico

3 Metodologia

O último estudo de futuro baseado em cenários realizado pela Shell (2013) indica que a forte participação das fontes térmicas tradicionais na matriz energética mundial perdurará por décadas. Indica também que a população mundial cada vez mais se concentrará nas áreas urbanas, fazendo com que a demanda por transporte de energia elétrica aumente.

Os desafios técnicos, econômicos e ambientais inerentes a essa tarefa e a perspectiva de exaustão das fontes de energia convencionais fazem desse futuro algo “não preferível”, conforme a notação dos estudos de futuro. Não cabe aqui discutir formas de alterá-lo, esse desafio pertence os tomadores de decisão. Cabe sim procurar por soluções técnicas que os subsidiem nessa missão.

Para isso a prospecção tecnológica mostra-se um caminho adequado, especialmente ao investigar tecnologias portadoras de futuro como é o caso da nanotecnologia.

A escolha da documentação patentária como material prospectivo mostra-se apropriada, pois esse tipo de literatura contém grande parte da informação técnica disponível e utilizável para P&D (ROSA apud GIANNINI, 2004). Além disso, esse material tem aderência ao viés empresarial desse levantamento (JACOBSSON apud GIANNINI, 2004), uma vez que se consegue com essa abordagem localizar desenvolvimentos que tem potencial de serem aplicados na prática.

O escopo da prospecção foi restringido aos equipamentos principais que compõem o Sistema Elétrico de Potência (SEP). Estes são os ativos industriais de maior interesse do Setor Elétrico (EPRI, 1987), pois respondem diretamente pelas atividades técnicas mais críticas e complexas: geração, transmissão e distribuição.

Além disso esses equipamentos apresentam estágios de desenvolvimento difíceis de serem superados com abordagens convencionais. Há assim escassez de avanços notáveis o que sugere necessidade de rompimento de paradigma, que pode acontecer com o uso da nanotecnologia.

Outro aspecto importante é que a necessidade de resfriamento e lubrificação em alguns equipamentos do SEP tornam também necessárias buscas por documentos sobre óleos isolantes, graxas e lubrificantes.

O sistema de classificação de patentes da base *Derwent*, facilita essa tarefa pois, além de utilizar a CIP, possui uma classificação própria que detalha mais o escopo do documento, incluindo várias informações práticas que auxiliam as análises (tabela 3). No caso em questão essa característica foi explorada incluindo buscas nas seções H07 (lubrificantes), L03 (características químicas de dispositivos elétricos) e X (engenharia elétrica de potência).

Foi assumido também que os avanços nanotecnológicos em eletrônica serão naturalmente incorporados por todos os setores industriais. Portanto, não foram incluídos na prospecção os sistemas de telecomunicações, supervisão e controle, parte importante do Setor Elétrico, mas que são, basicamente, sistemas eletrônicos.

Visando verificar a consistência desses critérios, foram realizadas consultas por *email* a 20 engenheiros das empresas do Sistema Eletrobrás sobre quais são os temas de interesse do Setor Elétrico.

Os consultados têm larga experiência nas áreas de projeto, manutenção, estudos elétricos, laboratórios e P&D e possuem afiliação em associações técnicas como o Cigré²⁴, a Abramam²⁵, a ANPEI²⁶ além do já mencionado IEEE. Como

²⁴ *International Council on Large Electrical Systems.*

²⁵ Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos.

²⁶ Associação Nacional de P&D das Empresas Inovadoras.

atributos adicionais, quase todos os entrevistados ocupam (ou ocuparam) cargos gerenciais relevantes, em todos os níveis hierárquicos.

O conjunto de opiniões resultante dessas consultas estava de acordo com a literatura pesquisada (EPRI, 1987). Foi então determinado que a prospecção seria focada nos equipamentos principais do SEP, conforme descrito na tabela 4. Estes, por sua vez, apresentam algumas semelhanças de demanda, permitindo organizar os temas de interesse de forma mais sintética, facilitando assim a prospecção. O resultado desse arranjo pode ser visto na tabela 5.

Tabela 3: Seções do sistema de classificação de patentes da base *Derwent*.
Fonte: *Derwent Innovations Index* (CAPES, 2013).

Seção	Escopo
A	Polímeros e plásticos
B	Farmacêutico
C	Química para agricultura
D	Alimentos, detergentes, tratamento de água e biotecnologia
E	Química (geral)
F	Tecidos e papéis
G	Impressão, revestimentos e fotografia
H	Petróleo
<i>...H07</i>	<i>Lubrificantes</i>
J	Engenharia química
K	Nuclear, explosivos e proteção
L	Refratários, cerâmicas, cimentos e eletro(in)orgânicos
<i>...L03</i>	<i>Características químicas de dispositivos elétricos</i>
M	Metalurgia
P	Engenharia (geral)
Q	Engenharia mecânica
S	Instrumentação, medição e ensaios
T	Computação e controle
U	Semicondutores e circuitos eletrônicos
V	Componentes eletrônicos
W	Comunicações
<i>X</i>	<i>Engenharia elétrica de potência</i>

Obs: As seções de interesse estão em itálico.

Tabela 4: Equipamentos principais do Sistema Elétrico de Potência (SEP)
 Fonte: Elaboração própria

Equipamentos	Temas de interesse
Rotativos Transformação Manobra	Partes elétricas Partes magnéticas Partes mecânicas Lubrificantes Isolantes
Transmissão	Partes elétricas Partes mecânicas Cabos Isoladores Pára-raios
Auxiliares	Armazenamento (de energia elétrica) Fontes (de energia elétrica)

Tabela 5: Temas de maior interesse do Setor Elétrico
 Fonte: Elaboração própria

Tema	Aplicação da nanotecnologia
Partes elétricas	Aumento da durabilidade Redução das perdas energéticas
Partes magnéticas	Redução das não linearidades
Partes mecânicas	Aumento da durabilidade Redução do peso e do volume
Lubrificantes	Aumento da durabilidade Aumento da eficiência
Isolantes	Aumento da durabilidade Aumento da eficiência
Cabos	Redução de peso, volume Redução das perdas energéticas
Isoladores	Criação de superfícies autolimpantes
Pára-raios (varistores)	Aumento da durabilidade Aumento da eficiência
Armazenamento (de energia elétrica)	Aumento da capacidade Aumento do rendimento Redução do peso e do volume Redução do tempo de carga
Fontes (de energia elétrica)	Aumento da capacidade Aumento do rendimento

Os equipamentos ditos “Auxiliares” têm por funções gerar energia localmente (auxiliar) e armazená-la (tabela 4). Isso se faz necessário para dar condições de operação aos equipamentos principais no caso de falta de energia (*blackout*).

Apesar de estarem incluídos entre os equipamentos principais do SEP, devido às suas funções serem equivalentes aos equipamentos utilizados na geração distribuída, os temas “armazenamento (de energia elétrica)” e “fontes (de energia elétrica)” serão tratados na análise qualitativa da Geração Distribuída.

Os depósitos de patente utilizados foram coletados em abril de 2013 e compreendem o período 1963-2011. Devido a regras de sigilo inerentes ao sistema internacional de patentes, os depósitos do período 2012-2013 e parte de 2011 não estavam disponíveis para coleta.

Os dados preliminares foram obtidos a partir do cruzamento H \cap B82 da CIP, i.e., os documentos pertencentes à interseção entre domínios da eletricidade e da nanotecnologia. Porém esse conjunto de dados praticamente não continha material sobre duas demandas importante: lubrificantes e óleos isolantes. Essas lacunas foram preenchidas com buscas com as palavras-chave²⁷ “graxa”, “lubrificante” e “óleo isolante” dentro do domínio da nanotecnologia, cobrindo dessa forma os documentos contidos fora da interseção previamente investigada.

Em seguida, utilizando a classificação proprietária do Sistema *Derwent* (apresentada na tabela 3), selecionou-se os documentos relativos à engenharia elétrica de potência (seção X), os documentos referentes às características químicas de dispositivos elétricos (seção L03) e lubrificantes (seção H07).

Com base nos títulos e nos resumos dos documentos selecionados foram identificados os conteúdos que permitiram as análises dos temas de interesse.

²⁷ Essas buscas foram realizadas com as sintaxes “IP=B82 AND TS=(LUBRICANT OR GREASE)” e “IP=B82 AND TS=(INSULAT AND OIL)”.

A partir daí pode-se elaborar mapas de conhecimento para identificação dos detentores das tecnologias de interesse bem como sugerir de linhas de P&D compatíveis com as necessidades empresariais, mas de acordo com a realidade nacional.

A busca pelos depósitos de patente na interseção entre eletricidade e nanotecnologia utilizando a CIP (H01B82), conforme apresentado na tabela 2, obteve 7780 documentos. A busca extra utilizando as palavras-chave “graxa” e “lubrificante” acrescentou 162 documentos e, utilizando “óleo isolante”, acrescentou 30.

Esse material recuperado da base *Derwent* foi convertido para uso em uma planilha Excel e, a partir do manuseio de ferramentas disponíveis nesse aplicativo, o material foi organizado. Foram eliminados registros duplicados²⁸ e, através de filtragem pela classificação *Derwent* para as seções X, L03 e H07 obteve-se 6220 documentos.

Foram então excluídos os documentos que, apesar de estarem dentro do escopo da eletricidade, não tinham relação com os processos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Estavam nessa condição os depósitos sobre eletrônica e biomédica, além de alguns casos em outros assuntos diversos.

A amostra resultante foi organizada segundo as aplicações listadas na tabela 5. Para tanto se utilizou os títulos, os resumos e os códigos *Derwent*. Por precaução os documentos excluídos foram analisados em busca de ausências importantes, o que resultou em inclusões manuais.

Na figura 9 pode ser visto um diagrama esquemático da metodologia desenvolvida e aplicada.

²⁸ O mesmo documento pode ser depositado em mais de um país e abordar mais de um tópico de interesse.



Figura 9: Diagrama esquemático da metodologia desenvolvida
Fonte: Elaboração própria

4 Resultados da aplicação da metodologia

A aplicação da metodologia descrita sobre o conjunto inicial de dados obtidos a partir da definição do escopo, i.e., os equipamentos principais do SEP, conforme enumerados na tabela 4, resultou em uma amostra de 1415 depósitos de patentes. O sumário quantitativo desse processo pode ser visto na tabela 6.

Não foi observada hegemonia por parte de empresas, instituições acadêmicas ou centros de pesquisa, indicando grande pulverização e especialização técnica. Porém mais de 80% dos documentos têm primeiro depósito nos EUA (30%), Coréia do Sul (23%), Japão (16%) e China (14%), caracterizando concentrações regionais nos interesses de proteção.

Tabela 6: Resultado da aplicação da metodologia na seleção da amostra
Fonte: Elaboração própria

Depósitos	Quantidade
H \cap B82	7780
(graxa + lubrificante) \cap B82	162
(óleo isolante) \cap B82	30
Filtragem <i>Derwent</i> \neq (X+L03+H07)	-1752
Eletrônica	-3367
Biomédica	-233
Materiais diversos	-831
Assuntos diversos	-441
Inclusões manuais	67
Amostra selecionada	1415

A distribuição dos temas de interesse (tabela 5) na amostra selecionada pode ser vista na tabela 7. A análise dos títulos e dos resumos dos depósitos revelou aspectos importantes, que são apresentados a seguir.

Convém ressaltar que esse trabalho se propõem a demonstrar as possibilidades de uso do sistema de patentes como ferramenta de prospecção tecnológica. Não há, portanto, pretensão de exaustão dos temas, ficando essa abordagem mais detalhada para futuros trabalhos, conforme ocorrência de demanda.

Tabela 7: Distribuição dos depósitos na amostra selecionada
Fonte: Elaboração própria

Temas	Depósitos	
	Quantidade	%
Modelo tradicional	160	11,31
Graxas e lubrificantes	70	4,95
Materiais elétricos	47	3,33
Cabos e fios	29	
Contatos	9	
Isolantes	7	
Varistores	2	
Materiais magnéticos	10	0,71
Óleos isolantes	1	0,07
Revestimentos hidrofóbicos	23	1,62
Revestimentos protetivos	9	0,63
Geração distribuída	1255	88,69
Armazenamento de energia elétrica	560	39,58
Células a combustível	299	21,13
Painéis fotovoltaicos	396	27,99
Total	1415	100

A análise de todos os títulos e resumos dos 1415 depósitos da amostra selecionada permitiu a escolha de exemplos representativos sobre as tendências dos temas de interesse. Nesses casos o título resumido e o titular principal do depósito podem ser encontrados no anexo A.

4.1 Análise qualitativa: modelo tradicional

Nos processos tradicionais de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, percebe-se que parte expressiva dos depósitos que aplicam nanotecnologia pretendem modificar características como perdas energéticas, peso, volume, e desgastes.

Essas mudanças buscam aumentar eficiência e a confiabilidade dos projetos ou reduzir os seus custos de implantação e manutenção, metas típicas da engenharia. Porém, por mais significativa que seja a melhoria proporcionada, não causam ruptura no modelo.

4.1.1– Graxas e lubrificantes

A indústria do petróleo, tradicional líder desse segmento, respondeu por 5% dos depósitos nesse tema. O restante apareceu distribuído entre universidades, centros de pesquisa e diversos setores industriais como o metal-mecânico, automobilístico, aeronáutico e de química fina.

Esse contexto sugere que as inovações nanotecnológicas nesse tema terão origens diversificadas e que alguns setores tipicamente consumidores de

lubrificantes estão desenvolvendo soluções próprias. Já a diversidade e o grande porte dessas empresas indicam que ocorrerão avanços em futuro próximo.

O conceito mais presente foi o de aditivos para óleos (WO2011118935, EP2311926, WO2012106090, KR2011074399, WO2011011714 e RU2356938). Há também aditivos com a finalidade de alteração da viscosidade que também podem ser utilizados em óleos (KR2011045365 e US2012202067). Já no caso das graxas, a quantidade de depósitos é menor (WO2010024056 e WO2011015337).

Em lubrificantes sólidos, além de nanocompósitos de grafite (FR2931923 e US2012201487) há também o uso de molibdênio (CN101898750) e de nanotubos de carbono (JP2005076756).

Há também lubrificantes com características de agentes de resfriamento (US2012112121 e KR2011059383), tendo sido esta última de titularidade da *Korea Electric Power*, da Coreia do Sul, demonstrando a possibilidade de desenvolvimento por parte de concessionárias de eletricidade.

Para partes internas de máquinas há exemplos de revestimentos com finalidade lubrificante (WO2008091406, WO2010058530 US2012282456 e DE102009043435).

Há ainda lubrificantes com propriedades hidrofóbicas (CN102051612) e até ecológicas, baseado em resíduos de algas (CN101891188).

Cabe destacar que a Petrobrás aparece na amostra analisada como titular em um depósito de aditivo para óleo, confirmando a vanguarda dessa grande empresa brasileira (US2009036335).

4.1.2 – Materiais elétricos

A maior parte das aplicações em materiais elétricos ocorreu em fios e cabos sendo que metade delas surgiu em 2010, sugerindo perspectiva de crescimento na incorporação da nanotecnologia nesses produtos. Apesar dessa constatação não há material suficiente para sugerir tendências mais claras.

Sobre fios e cabos, foram localizados depósitos que descrevem a utilização de nanotubos de carbono e outros nanocompósitos em conjunto com ligas metálicas tradicionais para melhoria das características físicas gerais, como a redução das perdas elétricas (US2012117937) e do peso e aumento da resistência mecânica (WO2011154829).

A combinação mais presente foi alumínio com nanotubos de carbono (US2011226509 e WO2011090133), porém há alternativas, inclusive com composições muito complexas como aço, zinco, zircônio, alumínio e lítio (RU99650).

Também há materiais para utilização em isolamento de cabos (WO2011115333), como retardante a chamas (WO2010005147) e com propriedades magnéticas para utilização em motores (US2012152590).

Mas talvez a abordagem mais radical e promissora seja em fios condutores baseados em carbono, sem predominância e até mesmo uso de metais (WO2011154829).

Os depósitos referentes a contatos elétricos procuram utilizar nanotubos de carbono para aumentar a capacidade térmica (DE102011000395) e a durabilidade (WO2009156386) em geral. Mas há desenvolvimentos para uso específico como enrolamentos (DE102009001850 e WO2006108814), relés (JP2003284304) e molas (WO2008048938).

Devido às especificidades das aplicações, os depósitos sobre materiais isolantes são direcionados. Há isolantes para máquinas rotativas (DE102010032949, DE102010019723), cabos (WO2011122742) e transformadores (US2011232940). Mas foram encontrados também materiais isolantes para uso geral (WO2010118336 e US2005276977).

O uso de nanocompósitos na melhoria das características dos varistores apareceu somente em dois depósitos. Uma delas utiliza o tradicional óxido de zinco (CN1832059) e a outra usa cristais de silício (DE10209793).

Apesar da abrangência de uso dos materiais elétricos, percebe-se que foram poucos os avanços encontrados na amostra. Uma das limitações talvez seja a capacidade de produção em grande escala dos nanocompósitos, fator que deverá ser contornado devido aos interesses econômicos, proporcionando avanços mais expressivos nos próximos anos.

4.1.3 – Materiais magnéticos

O desenvolvimento de equipamentos com partes magnéticas deve levar em consideração a possibilidade de saturação magnética. Esse fenômeno é particularmente indesejável nos transformadores por produzir distorções nas ondas de tensão. Porém esse fenômeno pode ser grandemente reduzido, e até mesmo eliminado, com o uso de ligas metálicas amorfas.

Essas ligas, apesar de metálicas, não possuem redes cristalinas em suas estruturas físicas, i.e., são amorfas, tem estrutura semelhante ao vidro. Essa característica impede o alinhamento dos dipolos magnéticos, causa da saturação.

Dos dez depósitos relacionados ao uso de nanotecnologia na produção de materiais magnéticos, somente dois dizem respeito à fabricação de ligas metálicas amorfas (US2004046470 e US2004150285).

Ambos são de propriedade dos mesmos inventores independentes em conjunto com a empresa norte-americana MetGlas, líder mundial no desenvolvimento de metais amorfos, evidenciando a grande especialização e dificuldade técnica desse assunto.

Os demais depósitos sobre materiais magnéticos, apesar de não tratarem diretamente sobre ligas metálicas amorfas, também estão relacionados com melhorias na produção de campos magnéticos.

Por exemplo, há um que descreve um enrolamento para produção de campos magnéticos homogêneos (WO2010118762). Há outros dois, de uma mesma empresa, relacionadas a núcleos magnéticos. Um deles refere-se a núcleos para uso em componentes indutivos, como bobinas para correção de fatores de potência (WO2008007345) e o outro refere-se a transformadores para uso em medidores de eletricidade (WO2005114682). Novamente pode-se observar a grande especialização que por vezes é necessária para o sucesso em alguns assuntos técnicos de ponta.

Avanços nas partes magnéticas das máquinas elétricas são de grande interesse do Setor Elétrico, porém observa-se pouca utilização da nanotecnologia nesse assunto, sugerindo oportunidades.

Por outro lado a grande especialização necessária para desenvolvimento desses materiais indica que um bom caminho seria o estabelecimento de parcerias com as empresas detentoras de tecnologia. Essa posição é reforçada pela ausência de instituições de ensino atuando nesse tema.

4.1.4 – Óleos isolantes

Devido aos enormes volumes de óleo utilizados em transformadores, a aplicação da nanotecnologia nesse tema acontecerá, provavelmente, por meio do desenvolvimento de aditivos.

Somente um depósito foi encontrado nesse tema. Trata-se de um método de preparo de nanofluido para aditivo em óleo isolante (KR2008038625-A) e é propriedade da *Korea Electric Power*, concessionária de eletricidade da Coreia do Sul já mencionada no item 4.1.1.

O fato de esse assunto estar sendo estudado por uma concessionária de eletricidade evidencia carência de investigação, especialmente por parte dos fabricantes de transformadores.

Por outro lado, o fato de essa ser a mesma empresa que já apresentou desenvolvimentos em outros temas nanotecnológicos, sugere que há alguma iniciativa empresarial específica em curso que talvez seja interessante de ser analisada.

4.1.5 – Revestimentos hidrofóbicos

Esse tipo de revestimento acrescenta características autolimpantes às superfícies onde ele é aplicado uma vez que a água (e até outros líquidos) é repelida e passa a escorrer livremente levando consigo as impurezas presentes (por exemplo, em janelas, claraboias e para-brisas).

Apesar dessas vantagens óbvias, a quantidade de depósitos encontrados na amostra e sua distribuição no tempo não sugerem tendência de crescimento em P&D.

Há exemplos de aplicações em superfícies em geral (WO2005005679, JP2012186395 e KR2010101977). Porém há também exemplo de revestimento hidrofóbico que sugere aplicação em superfícies como as encontradas nos isoladores dos sistemas de transmissão e nos painéis fotovoltaicos (CN101085580).

Nesses casos, a inclusão das características autolimpantes citadas, proporcionaria grande redução nos custos de manutenção, uma vez que a presença de partículas nessas superfícies reduz a eficiência desses dispositivos, exigindo limpezas periódicas e logística complicada.

4.1.6 – Revestimentos protetivos

Foram recuperados depósitos sobre revestimentos protetivos para partes críticas de turbinas (CA2754252 e EP2368839). Nesses casos os desenvolvedores são grandes fabricantes de máquinas (*Pratt & Whitney* e *Siemens*), indicando potencial de aplicação em futuro próximo.

Há também depósitos sobre uso mais geral. A *Volkswagen* em conjunto com a *ThyssenKrupp Steel* (DE102004049413) e a *Posco*, empresa sul-coreana e terceira maior produtora de aço do mundo (WO2010053270) desenvolveram métodos para tratamento de chapas de aço. A Coréia do Sul também aparece no setor petroquímico (US2010207053).

Apesar de serem poucos exemplos, diante da envergadura industrial dos titulares, pode-se dizer que as indústrias automobilística, siderúrgica, petroquímica e metal-mecânica despertaram para esse tema.

Nota-se também parceria entre empresas da nascente indústria nanotecnológica, como a *Applied Nanostructured Solutions* e empresas tradicionais, no caso a *Lockheed Martin* (WO2011053457, US2011124253 e US2011124483).

Essa é nitidamente uma situação de inovação aberta, pois a demanda de aplicação, no caso o aumento da resistência em partes de aviões hipersônicos, é atendida por especialistas externos ao fabricante.

4.2 Análise qualitativa: geração distribuída

Da forma como está sendo abordada aqui, o paradigma da geração distribuída evoluirá em dois aspectos fundamentais e complementares: geração e armazenamento de energia elétrica.

O primeiro aspecto, por sua vez, pode ser subdividido em dois caminhos, também complementares: gerar energia elétrica a partir de compostos químicos em células ditas “a combustível” ou a partir de luz solar.

O panorama geral de evolução desses temas no viés da nanotecnologia pode ser visto na figura 10. Aparentemente há uma tendência de crescimento nos depósitos relacionados ao armazenamento de energia e uma acomodação quanto às formas de geração citadas.

Seguramente os avanços na área de armazenamento de energia apresentam crescimento acelerado. Sinal inequívoco dessa afirmativa é a visibilidade cada vez maior do veículo elétrico (VE), sistema tecnológico totalmente dependente do armazenamento de energia elétrica.

Apesar do escopo tratado aqui não contemplar o VE, é esperado que os avanços nesse setor sejam transpostos para outras aplicações, causando reflexos positivos nos avanços tecnológicos dos sistemas de armazenamento de energia para uso na geração distribuída.

Por outro lado, a ausência de crescimento no número de depósitos sobre tecnologias de geração de eletricidade para aplicação na geração distribuída pode ser explicada como sendo consequência das recentes crises econômicas. Não tendo uma área com interesse econômico tão forte quanto o VE, esses segmentos seguem em ritmo menos acelerado.

Esse cenário poderia ser diferente para as células a combustível caso elas fossem largamente adotadas nos VE, porém a indústria automobilística nitidamente prefere a bateria de lítio como sistema de armazenamento, como pode ser observado nos diversos modelos atualmente comercializados. Talvez com os avanços nanotecnológicos, esse quadro se modifique.

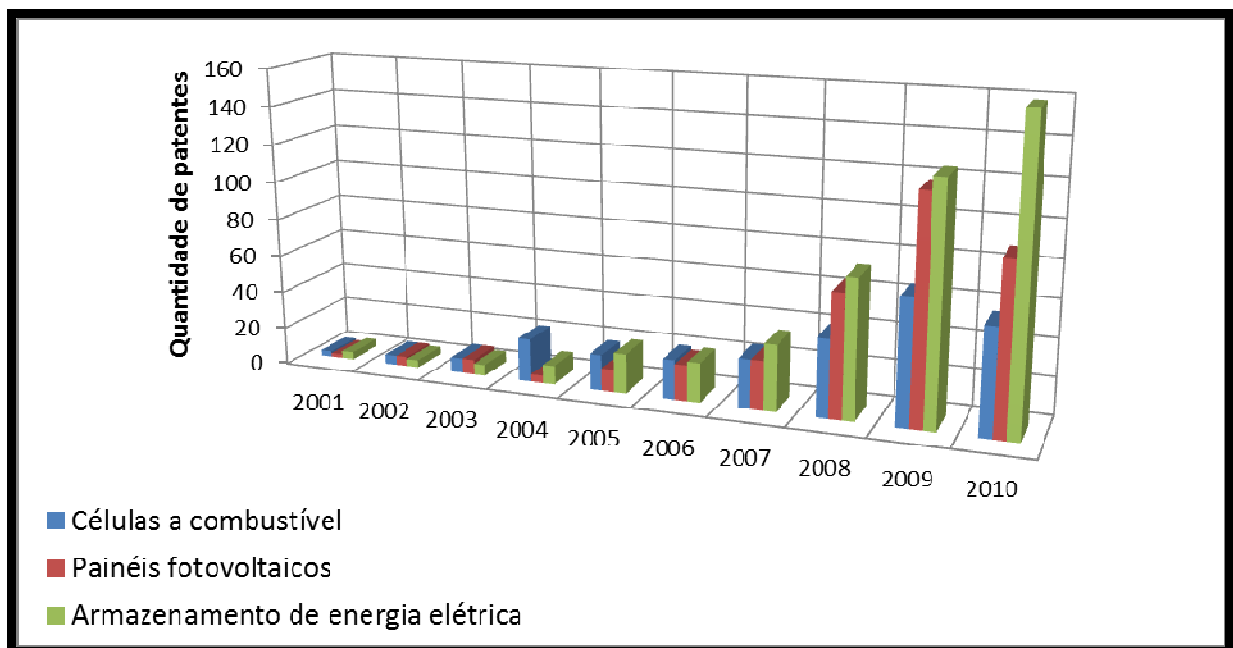


Figura 10: Quantidade de depósitos sobre aplicação de nanotecnologia em fontes e sistemas de armazenamento de energia elétrica
Fonte: Elaboração própria com dados da base *Derwent*

4.2.1 – Armazenamento de energia elétrica

Quase 40% dos depósitos analisados referem-se a armazenamento de energia elétrica, sendo que descrições explícitas de materiais baseados em lítio ocorrem em cerca de 60% desses documentos. Além destes há aqueles que se referem à tecnologia baseada em lítio, porém sem citar o elemento em si. Esse é o caso dos eletrodos de grafite, por exemplo.

O uso do lítio no Setor Elétrico já é uma realidade, porém em volumes inexpressivos. O crescente uso da nanotecnologia nesse campo poderá acelerar a velocidade de adoção dos compostos de lítio como paradigma principal para armazenamento eletroquímico, no lugar dos compostos de chumbo, níquel-cádmio e outros.

Essa mudança de rumo nesse eixo tecnológico vem sendo observada nos últimos anos com a imensa demanda que vem sendo exigida dos dispositivos móveis (*notebooks, smart phones* etc), fazendo com que a bateria seja uma peça chave no sucesso comercial desses produtos.

A crescente adoção dos VE pela indústria automobilística como séria opção comercial está alavancando ainda mais esse setor. Atualmente, mesmo sem incorporar os avanços nanotecnológicos, as baterias já possuem enorme capacidade e eficiência (SOARES, 2012).

O uso da nanotecnologia colocará os sistemas de armazenamento de energia elétrica em um patamar de capacidade que era considerado impossível no século XX (RUBBIA, 1989).

O lítio apareceu como elemento fundamental em 331 depósitos analisados. Há compostos de lítio com alumínio (CN102569757), bismuto (CN102157723), carbono (CN102610814), cobalto (CN101913556), cobre (CN101920993), estanho (WO2011040022), enxôfre (US2011151335), ferro (WO2009127672), flúor (US2011227001), fósforo (CN102034958), manganês (WO2010150857), níquel (WO2010053174), oxigênio (US2011104576), selênio (CN101559931), silício (KR2012089512), titânio (US2011171533) e vanádio (WO2009144267).

Apesar dessa dominância absoluta do lítio nos sistemas de armazenamento de energia elétrica com base nanotecnológica, há algumas exceções que podem evoluir para se tornarem alternativas técnicas e econômicas.

Na amostra analisada foram encontrados depósitos que se referem a sistemas baseados em cádmio (US2012178002), ferro (WO2012012731), vanádio (WO2011044778), zinco (KR2010122706), sódio (DE102009017262), magnésio (CN1905251 e US2012100424), ferro-molibdênio (WO2012125389) e germânio-gálio (WO2010098646).

A quantidade e diversidade de depósitos na área de armazenamento de energia elétrica com uso de nanotecnologia, bem como seu ritmo de crescimento, sugerem que esse tema não será obstáculo para a adoção em grande escala da geração distribuída.

Essa percepção é reforçada pela presença de grandes indústrias como a *3M*, *BASF*, *Bayer*, *Bosch*, *du Pont*, *Mitsubishi*, *Nokia*, *Hitachi*, *Panasonic*, *Samsung*, *Seiko Epson*, *Sumitomo*, *Sony*, *LG*, *Lockheed Martin*, *Matsushita*, *NEC*, *Toshiba*, *Toyota*, *Honda*, *Nissan* e *General Motors*, só para citar algumas.

A Academia também se mostra muito presente, com universidades como a de Chicago, da Califórnia, de Beijing, da Flórida, *Cornell*, *MIT*, *Caltech* e tantas outras.

Cabe citar que a *Hydro-Quebec*, empresa canadense de energia elétrica, também possui depósito nesse tema (WO200246101A), demonstrando que o Setor Elétrico também tem condições de realizar desenvolvimentos interessantes.

Mas os sistemas baseados nessas tecnologias terão que armazenar grande quantidade de energia, que deverá ser fornecida por fontes geradoras. Sendo assim, o sucesso da geração distribuída parece estar mais tecnicamente dependente destas fontes.

4.2.2 – Células a combustível

Cerca de 20% dos depósitos analisados tratam de células a combustível, sendo em sua grande maioria as do tipo PEM (*Proton Exchange Membrane*).

Esse tipo de tecnologia é economicamente dependente de metais nobres, especialmente platina e paládio (KR2012107028, WO2012133017, WO2012125138, KR2012014704 e WO2012011170, por exemplo).

Essa característica é um grande limitador para adoção das células a combustível em larga escala, porém percebe-se há esforços para substituição desses metais por nanotubos de carbono (JP2012164492), nanopartículas de cobalto e outros materiais (CN102489314), o que, provavelmente, causará enorme redução de custo.

Outro aspecto importante percebido é o crescimento, a partir de 2008, do uso de nanotecnologia nas células a combustível de óxido sólido (*Solid Oxide Fuel Cells - SOFC*). Foram localizados 30 depósitos nesse tema (por exemplo WO2010090479, US2012251917 e US2012094213).

Essa vertente tecnológica já está em uso para produção de energia elétrica em instalações de médio porte, mas apresenta dificuldades devido à alta temperatura de operação. Revestimentos nanotecnológicos poderão reduzir os desgastes e as temperaturas de operação, permitindo a adoção em grande escala dessa tecnologia, inclusive em instalações de pequeno porte.

Apesar desse tipo de tecnologia estar sendo abordado como parte integrante de um modelo de geração distribuída, deve ser ressaltado que as células a combustível geram eletricidade a partir do processamento do hidrogênio puro, no caso das PEMs, e hidrocarbonetos leves, como metano ou butano, no caso das

SOFCs. Portanto devem ser considerados os custos e as dificuldades de obtenção e entrega e os impactos ambientais do processamento desses materiais.

De fato, esse é mais um grande limitador para adoção das células do tipo PEM em grande escala. Além disso, há a dificuldade de obtenção de hidrogênio com alta pureza, que usualmente é produzido por eletrólise da água, um processo que consome muita energia. E, para dificultar ainda mais, há a óbvia questão da segurança, decorrente do risco de explosão devido à alta inflamabilidade do hidrogênio.

Como alternativa ao manuseio direto do hidrogênio, há processos que o extraem de combustíveis líquidos como o metanol, simplificando as questões logísticas, porém com o ônus da dependência do petróleo. Foram localizados 16 depósitos nesse tema (CN102267684, US2011256469 e CN102151565, por exemplo).

Mais atraente é a extração do hidrogênio a partir do etanol, já que aí não há dependência do petróleo. Porém foram encontrados poucos depósitos nesse tema (CN102489314, WO2012064768). Isso se deve, provavelmente, ao fato do etanol economicamente viável ser aquele produzido a partir da cana de açúcar. Porém esse insumo depende de grande insolação durante todo o ano, característica não presente nos países líderes em pesquisa nanotecnológica.

A célula a combustível baseada em etanol parece, portanto, um desafio que deverá ser enfrentado pelo (e para) o Brasil. Nesse sentido, felizmente, há pesquisa sendo realizada pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (BR200705320, BR200705320, BR200705320 e BR200705320).

4.2.3 – Painéis fotovoltaicos

Nos painéis fotovoltaicos, a nanotecnologia está substituindo o silício causando redução de custo e introduzindo características interessantes como flexibilidade (US2012247545) e transparência (CN202013888), para aproveitamento de superfícies irregulares e janelas, por exemplo.

Apesar da importância das questões meramente econômicas, o objetivo mais perseguido é o aumento do rendimento.

A quantidade de energia proveniente do Sol que incide por unidade de área é função da localização, da época do ano e das condições meteorológicas. Essa energia abrange desde frequências muito baixas, como ondas de rádio, até frequências tão altas como raios gama, porém a maior parte dela está localizada entre o infravermelho e o ultravioleta.

Essa característica motiva que o desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos procure encontrar maior rendimento nessa faixa de frequências. Há depósitos que exploram o infravermelho (CN201985119) e outros a luz visível (US2012031487).

Apesar disso há esforços para aproveitamento em regiões do espectro com menos energia, como na faixa de micro-ondas (DE102007030498 e US2012206085).

Há também a abordagem de concentrar a luz solar aumentando a densidade de energia por unidade de área (US2011214726 e DE102009045582), ou então aumentar a eficiência evitando o aumento da temperatura (KR2010108849), a entrada de água (WO2010066647) ou o aparecimento de gelo e condensação (CN101624173).

Mas um aumento sensível do rendimento só será obtido com a conversão de maior parcela do espectro. Porém a exploração simultânea eficiente de diversas faixas frequência esbarra em dificuldades técnicas e financeiras. Esse é um desafio que vem sendo abordado de algumas formas.

Uma delas é utilizar múltiplas refrações para encaminhar as frequências para conversores específicos (WO2009122414).

Outra é converter diferentes comprimentos de onda em múltiplos detectores em um mesmo substrato semiconductor. Essa tecnologia é conhecida como *multijunction* (US2012174971 e US2011297217).

Também se pode converter o espectro para uma faixa de maior absorção antes de enviar a radiação para os conversores (KR2011077200 e WO2012060418).

Há, portanto boas perspectivas de aumento sensível do rendimento dos painéis solares a partir a exploração do espectro em faixa larga.

Outra variável importante é o custo ambiental de fabricação dos painéis. Não é desejável que o processo de fabricação produza mais gases de efeito estufa do que o evitado na vida útil em operação.

4.3 Outras aplicações

Além dos assuntos mais diretamente relacionados com os equipamentos principais do SEP, conforme mostrado na tabela 5, outros temas de interesse do Setor Elétrico também foram detectados, durante a seleção da amostra.

Apesar de não terem sido analisados por estarem fora do escopo definido na metodologia, optou-se por listá-los aqui, a título documental e por terem potencial para futuros trabalhos sobre aplicação da nanotecnologia. São eles:

- Blindagem eletromagnética para equipamentos eletrônicos
- Reforço de concreto
- Reforço de pás de geradores eólicos
- Proteção contra corrosão
- Filtragem de ar e água
- Detecção de gases
- Conversão de energia
- Supercondutores

5 Conclusões

A história da eletrificação mostra que conceitos tidos como atuais como Inovação Aberta, na verdade, são bastante antigos. Edison ao se negar a utilizar patentes de outros inventores selou sua derrota no controle da *General Electric*. Por outro lado Westinghouse, com sua conduta receptiva a ideias externas conseguiu controlar um portfólio de patentes poderoso, fazendo com que o mercado adotasse sua concepção sobre transmissão de eletricidade.

Mas, paradoxalmente, a admiração de Westinghouse pelas boas ideias foi o motivo de sua derrota empresarial. Ao valorizar os grandes inventores ele provocou uma reação negativa no mercado, que interpretou sua generosidade como desperdício. Assim como Edison perdeu também o controle da empresa que criara.

A trajetória de Edison mostrou como não há perenidade nos negócios quando a empresa se mantém fechada. Já o caminho trilhado por Westinghouse mostrou que a Inovação Aberta é um caminho profícuo, desde que tenha alinhamento com as demandas empresariais. Afinal os recursos financeiros são indispensáveis, especialmente quando se trata de grandes rupturas, pois estas normalmente são intensivas em capital.

Essa história deixa claro também a importância do sistema de patentes. Todas as etapas da sequência de eventos que resultou na eletrificação foram determinadas por ações e reações envolvendo controle de patentes básicas, notadamente a lâmpada com filamento de carbono, o motor de indução, o sistema multifásico e o transformador.

Outro aspecto de destaque aqui é a rapidez com que a eletrificação ocorreu. Por mais intensiva que seja em capital, quando há forte demanda, a inovação

aparece. Como a eletricidade é facilmente percebida como relevante para uma boa qualidade de vida, desde que travou contato com essa fonte de energia a Sociedade tem mostrado apetite insaciável por esse recurso.

O cenário atual mostra isso de forma inequívoca. Segundo o *World Bank* (2013) em 2009 cerca de três quartos da população mundial eram usuárias regulares de eletricidade. Esse número deverá estar próximo da totalidade da população em menos de 50 anos. Já o consumo individual tem crescido exponencialmente, devido ao aumento do poder aquisitivo e da diversificação de aplicações tecnológicas, especialmente aquelas relacionadas com conectividade e entretenimento.

Essa situação se agrava com a tendência á concentração urbana. Os cenários futuros elaborados pela Shell (2013) indicam que em 2060 quatro quintos da população estará confinada em grandes centros urbanos.

O crescimento exponencial do consumo de eletricidade em espaços cada vez menores baseado em um modelo onde as fontes não ficam perto dos consumidores e estão sendo cada vez mais restringidas por questões ambientais é uma conjuntura potencialmente explosiva. Obviamente algo tem que ser tentado no sentido de se evitar o colapso.

A nanotecnologia, pelas características técnicas disruptivas e espetaculares que vem apresentando, surge em momento oportuno na história do Homem. O uso inteligente dos novos materiais que estão sendo disponibilizados pode resultar em soluções com capacidade de contribuírem na elaboração de um futuro preferível.

No caso da eletricidade, a criação de fontes de energia e formas de armazenamento possíveis de funcionarem muito perto da carga consumidora reduziria o impacto dos fatores já mencionados. E, em paralelo a esses

desenvolvimentos, melhorias no sistema tradicional de geração e transmissão também seriam muito bem vindas.

Esse trabalho pretende contribuir nesse sentido. Para tanto se optou por investigar as possibilidades de uso da nanotecnologia no Setor Elétrico realizando prospecção tecnológica utilizando documentos de patente. A base de dados escolhida foi a *Derwent Innovation Index*, de renome internacional, disponível no Portal Capes (capes.gov.br).

O escopo definido excluiu da análise os equipamentos e dispositivos eletrônicos devido ao entendimento de que os benefícios que a nanotecnologia trará para esses setores serão transparentes aos usuários finais. Caberá ao Setor Elétrico atentar para esses avanços de forma a realizar aquisições aderentes às suas necessidades.

Alguns dos documentos associados a lubrificantes e óleos isolantes não incluídos no domínio da eletricidade cuja Classificação Internacional de Patentes (CIP H) foram classificados pela *Derwent* como aplicáveis à engenharia elétrica de potência (classificação *Derwent X*).

Essa divergência mostra a importância de uma estratégia de busca bem elaborada que não seja limitada ao uso exclusivo da CIP. Outro indicador da qualidade da estratégia de busca adotada é o fato de que somente 5% dos documentos relevantes foram incluídos manualmente.

O ritmo de crescimento de P&D nanotecnológicos em sistemas de armazenamento de energia, células a combustível e painéis fotovoltaicos indicam que os avanços nesses temas ocorrerão independentemente de ações do Setor Elétrico. Este por sua vez poderá se beneficiar na medida em que for adotando, com coerência, as soluções disponibilizadas.

Nenhum dos outros temas apresentou tendência clara. Nesses casos os documentos apareceram aleatoriamente dispersos no tempo e trataram de aspectos diversos, sem predominâncias específicas. Esse cenário evidencia que a nanotecnologia está somente começando a surgir nesses temas e que há ainda muitas lacunas com oportunidade de P&D. Apesar disso há perspectiva de disponibilidade, em futuro próximo, de:

- Fios e cabos mais resistentes e com menores perdas energéticas
- Superfícies autolimpantes
- Partes mecânicas críticas mais resistentes
- Lubrificantes mais eficientes e duráveis

Por questões inerentes à nanotecnologia²⁹, é indicado que o Setor Elétrico, inicialmente, procure cobrir as lacunas percebidas com o uso inovador de materiais já existentes ao invés de se envolver com desenvolvimentos de novos produtos. Para isso é recomendável a participação ativa nas redes nacionais de pesquisa que tratam de materiais³⁰.

Como a documentação analisada permite a identificação de possíveis parcerias propões-se, como futuros trabalhos, a criação de mapas de conhecimento. Estes por sua vez contribuirão para a elaboração de um portfólio de P&D enxuto e focado em prioridades empresariais aderentes aos planejamentos estratégicos.

Escolhas acertadas podem alavancar a capacitação interna e a disputa por espaço relevante no mercado internacional de nanotecnologia. Por exemplo, o uso da nanotecnologia no desenvolvimento de células a combustível baseadas em

²⁹ Apesar de não abordado neste trabalho, os custos para capacitação, desenvolvimento e fabricação de nanomateriais são muito altos.

³⁰ “Rede Cooperativa de Pesquisa em Revestimentos Nanoestruturados” e rede de “Nanotubos de Carbono: ciência e aplicações” do Programa Nacional de Nanotecnologia.

etanol da cana de açúcar, por interesses econômicos e limitações geográficas, só acontecerá se houver grande envolvimento do Brasil. Por tratar-se de objetivo de envergadura nacional deve contar, além do governo federal, com a parceria da indústria sucroalcooleira.

Outras opções interessantes são:

- Utilização de aditivos em óleos isolantes para transformadores
- Aplicação de revestimentos protetivos em contatos elétricos e turbinas
- Aplicação de revestimentos autolimpantes em isoladores

Além destes, verificou-se que outros temas relevantes para o Setor Elétrico estão sendo abordados pelo viés nanotecnológico, o que pode resultar também em avanços interessantes.

É então importante que esses assuntos também sejam monitorados e uma boa forma de fazê-lo é através de análises semelhantes a aqui apresentada. Outro futuro trabalho interessante é a criação de um observatório tecnológico focado nas aplicações de interesse empresarial.

Apesar de terem sido apresentadas aqui algumas constatações importantes e até mesmo muito específicas, a análise realizada teve por objetivo principal demonstrar o grande potencial de uso do sistema de patentes como ferramenta de prospecção tecnológica. Ficou, portanto, para futuros trabalhos, as análises mais detalhistas que, conforme a profundidade pretendida, deverão ser feitas sob demandas muito claras e em conjunto com especialistas.

Por fim, cabe repetir, a título de ênfase, que há indicativo de que a nanotecnologia será fator chave nos desenvolvimentos que viabilizarão, em larga

escala, a geração distribuída, movimento que tem perspectiva de redefinir a estrutura do Setor Elétrico.

O estudo de futuro da Shell amplamente citado nesse trabalho, ao prever que as fontes renováveis prevalecerão no futuro, está de fato prevendo o domínio da geração fotovoltaica distribuída. Por indução, está também prevendo os grandes avanços em sistemas de armazenamento e células a combustível. Cabe aos que acreditarem nesse futuro, tomar medidas que procurem antecipar os eventos que o tornarão viável.

Essa percepção deve ser interiorizada no Setor Elétrico de forma que as tomadas de decisão do futuro próximo consigam fazer do futuro distante algo não tão distante assim, trazendo o mais rapidamente possível mais qualidade de vida para nós e nossos descendentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, M.S.M. **Estudo de futuro a partir das técnicas de prospecção tecnológicas**: o caso da nanotecnologia. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2008.

ANDERSON, J. **Futures Studies Time Line**. Elon University. Disponível em: <www.elon.edu>. Acesso em 7 de outubro de 2013.

BINNIG, G.; ROHRER, H. Scanning tunneling microscopy. **Surface Science**, Amsterdam, v. 126, n. 1-3, p. 236-244, Mar. 1983.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). **Diretrizes de política industrial, tecnológica e de comércio exterior (PITCE)**, 2003. Disponível em: <www.mdic.gov.br>. Acesso em 7 de julho de 2013.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). **Portaria nº 614 de 2004**. Disponível em: <www.mct.gov.br>. Acesso em 21 de junho de 2013.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). **Programa de C,T&I para nanotecnologia**, 2008. Disponível em: <www.mct.gov.br>. Acesso em 21 de junho de 2013.

CAPES – COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. **Derwent Innovation Index**. Disponível em <capes.gov.br>. Acesso em 17 de março de 2013.

CLARKE, A. C. **Profiles of the Future**: An Inquiry into the limits of the possible, Warner Books, 1985.

DREXLER, K. E. Molecular engineering: an approach to the development of general capabilities for molecular manipulation. **Proceedings of National Academy of Science of the United States of America**, Washington, v. 78, n. 9, p. 5275-5278, Sep. 1981.

_____. **Engines of creation**: the coming era of nanotechnology. Garden City, NY: Anchor, 1986.

_____. **Molecular machinery and manufacturing with applications to computation.** 1991. 487 f. Tese (Doutorado em Filosofia), School of Architecture and Planning, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1991.

_____. **Nanosystems:** molecular machinery manufacturing and computation. New York: Wiley, 1992.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI). **Power plant electrical reference series.** Disponível em <www.epri.com>. Acesso em 7 de janeiro de 2013.

FEYNMAN, R. P. There's plenty of room at the bottom. **Caltech Engineering and Science**, California, v. 23, n. 5, p. 22-36, Feb. 1960.

_____. Infinitesimal machinery. **Journal of Microelectromechanical Systems**, New York, v. 2, n. 1, p. 4-14, Mar. 1993.

_____. **Tiny Machines.**1984. Disponível em: <www.youtube.com>. Acesso em 12 de fevereiro de 2013.

FORESIGHT INSTITUTE. **Productive Nanosystems:** a technology roadmap. 2007. Disponível em: <www.foresight.org>. Acesso em 17 de março de 2013.

FREEMAN, C.; SOETE, L. **A economia da inovação industrial.** São Paulo: Unicamp, 2008.

GIANNINI, R.G. **Modelo de tratamento de informações tecnológicas.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2004

HUGHES, T. P. **Networks of Power:** electrification in Western Societies 1880-1930, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1993.

INPI – INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Classificação Internacional de Patentes. Disponível em : <www.inpi.gov.br>. Acesso em 5 de março de 2013.

IGAMI, M.; OKAZAKI, T., Capturing Nanotechnology's Current State of Development via Analysis of Patents, **OECD Science, Technology and Industry Working Papers**, 2007/4,

Directorate for Science, Technology and Industry, OECD, Paris, 2007.

INIC - IRANIAN NANOTECHNOLOGY INITIATIVE COUNCIL. Disponível em <www.statnano.com>. Acesso em 12 de fevereiro de 2014.

JONES, J. **Empires of light**: Edison, Tesla, Westinghouse and the race to electrify the world. New York: Random House, 2004.

KAISER, D. **Notes toward a nanotech timeline**. Office os Scientific and Technical Information – OSTI, United States Department of Energy, Working Paper 6-06-001, 2006.

KROTO, H. W. et al. C60: buckminsterfullerene. **Nature**, California, v. 318, p. 162–163, Nov. 1985.

MCPARTLAND, D. S. **Almost Edison**: how William Sawyer and others lost the race to electrification. New York: ProQuest, 2006.

NSTC - NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL. **National Nanotechnology Initiative Strategic Plan**, 2011. Disponível em: <www.nano.gov>. Acesso em 7 de julho de 2013.

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, **Energy: The Next Fifty Years**. Disponível em <www.oecd.org>. Acesso em 15 de agosto de 2013.

OUELLETTE, L. L. Do patents disclose useful information? **Harvard Journal of Law & Technology**, Cambridge, MA, v. 25, n. 2, p. 532-593, spring 2012.

PIO, M.J. **Estudos de prospectiva tecnológica como ferramenta de apoio ao planejamento estratégico**: o caso têxtil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2004.

RUBBIA, C.; CRISCENTI, N. **O dilema nuclear**, Rio de Janeiro, Martins Fontes, 1989.

SHELL. **Cenários sob novas lentes**. Disponível em <www.shell.com>. Acesso em 7 de outubro de 2013.

SCHENATTO, F.J.A.; POLACINSKI, E; ABREU, A. F.; ABREU, P. F. Análise crítica dos estudos do futuro: uma abordagem a partir do resgate histórico e conceitual do tema. **Gest. Prod.** v.18, n.4, pp. 739-754, 2011.

SOARES, A. P. et al. The stationary lithium-ion battery in Brazil. In: International Telecommunication Energy Conference, 34, 2012, Arizona, USA. **Proceedings...** Arizona, USA: INTELEC, 2012.

SUMIO, I. Helical microtubules of graphitic carbon. **Nature**, California, v. 354, p. 56–58, Nov, 1991.

TANIGUCHI, N. On the basic concept of nano-Technology. In: International Conference on Production Engineering, 1974, Tokyo. **Proceedings...** Tokyo: Japan Society of Precision Engineering, 1974.

The State University of New Jersey, Rutgers. **The Thomas Edison Papers Project**. Disponível em: <edison.rutgers.edu>. Acesso em 15 de agosto de 2013.

TOURNEY, C. Reading Feynman into nanotechnology: a text for a new science. **Techné: Research in Philosophy and Technology**, Virginia, v. 12, n. 3, p. 133-168, fall 2008.

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE (USPTO). Gerd Binnig; Heinrich Rohrer. **Scanning tunneling microscope**. US n. 4343993, 12 Sep. 1980. 10 Aug. 1982.

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE. Gerd K. Binnig. **Atomic force microscope and method for imaging surfaces with atomic resolution**. US n. RE 33387, 16 Nov. 1988. 16 Oct. 1990.

VOROS, Joseph., A Primer on Futures Studies, Foresight and the Use of Scenarios, Foresight Bulletin, No 6, December 2001, Swinburne University of Technology.

World Bank. **World Bank Open Data**. Disponível em <www.worldbank.org>. Acesso em 21 de junho de 2013.

XIN Li; et. al. Roco, Worldwide nanotechnology development: a comparative study of USPTO, EPO, and JPO patents (1976–2004), **Journal of Nanoparticle Research**, 2007.

Anexo A: Exemplos de documentos analisados

Depósito principal	Título abreviado	Titular principal
BR200705320	Fuel cell anode comprises microtube made of nickel, which has microscopic liquid electrolyte, where internal structure of porous nickel has pores of nanometric size, which are impregnated with ionomer	COMISSAO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
BR200705313	Cathode for fuel cells in nanostructured microtubes walls of porous nickel, has microscopic-sized nickel tubes and spongy porous wall of nanoscopic scale	COMISSAO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
BR200705309	Electrodes for fuel cells, has microscopic clusters of conductive tubes material of porous carbon base with texture dimensions of nanometers, which receives catalyst and liquid electrolyte	COMISSAO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
BR200705309	Electro-catalyst for use as anode in direct oxidation of alcohols in fuel cells with proton exchanging membrane, contains metallic nanoparticles, platinum-tin base, elements included in series of lanthanides and various other elements	COMISSAO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
CA2754252	Method for applying nanocrystalline coating to component used in gas turbine engine, involves applying intermediate bond coat to portion of component	PRATT&WHITNEY
CN101085580	Micro-pattern forming method, involves forming micro structure of part area with hydrophobicity in whole surface area on mold, coating film e.g. ultraviolet hardened resin, on substrate, and removing mold after making film hardened	SAMSUNG ELECTRONICS
CN101559931	Preparation of ferrous selenide nanopowder for use as anode active material of lithium ion battery, by reacting ferrous oxalate, citric acid, sodium selenosulfate solution and polyvinyl alcohol aqueous solution, and vacuum drying	UNIV WUHAN TECHNOLOGY

CN101624173	Preparing indium tin oxide monodispersed nanopowder for use as anti-icing agent for solar cell, solar collector and vehicle window defogging, involves putting glycol suspension and indium tin oxide into reaction kettle to obtain mixture	UNIV JINAN
CN101891188	Preparation of nano activated carbon beads from blue-green algae residue e.g. used for lubricant, comprises drying blue-green algae residue, crushing, sieving, soaking in phosphoric acid solution, carbonizing, drying, grinding, and sieving	PLASMA PHYSICS INST CHINESE ACAD SCI
CN101898750	New solid lubricant nanometer additive molybdenum selenide piece, prepared by grinding molybdenum powder and selenium powder, putting into stainless steel reaction kettle, and heating into high temperature box-type furnace	WUXI RUNPENG COMPOSITE NEW MATERIAL
CN101913556	Preparation of cobalt-silicon oxide/carbon nanometer composite material, useful for e.g. lithium-ion battery, comprises e.g. mixing prepared solution of e.g. polyvinylpyrrolidone and solution of sodium hydroxide, baking and roasting	UNIV BEIJING SCI&TECHNOLOG Y
CN101920993	Copper vanadate material and preparation method, used for electrode material of lithium/copper vanadate primary battery	UNIV FUDAN
CN101920993	Copper vanadate material and preparation method, used for electrode material of lithium/copper vanadate primary battery	UNIV FUDAN
CN102034958	Mesoporous phosphate anode material with olivine structure, used for secondary lithium battery, comprises carbon-encapsulated primary particle with nano-level mesoporous passage	CHINESE ACAD SCI PHYSICS INST
CN102051612	Preparation of super-hydrophobic lubricant coating of light metal surface comprises soaking treated metal plate to ethyl acetate, putting treated metal plate to copper salt solution, etching, and coating on surface of eroded metal plate	UNIV NORTHWESTERN POLYTECHNICAL

CN102151565	Synthesis of palladium-platinum/graphene nano electric catalyst used for electrochemical oxidation of methanol, by subjecting graphene oxide, palladium and platinum salt solutions and reducing agent to microwave radiation	UNIV NANJING
CN102157723	Electrode cathode material i.e. bismuth trioxide nano film, for lithium ion battery, has bismuth trioxide powder, and stainless steel reaction cavity, where film deposited in stainless steel reaction cavity	UNIV FUDAN
CN102234119	Preparing nickel phyllosilicate nanotube as cathode material for lithium-ion battery by dissolving hexahydrated nickel chloride, sodium silicate solution and sodium hydroxide in purified water, and reacting in sealed high-pressure kettle	UNIV QINGHUA
CN102267684	Manufacturing carbon composite material used as catalyst in direct methanol fuel cell, by reacting sodium alginate solution with high valent metal chloride acid solution, centrifuging solution to obtain gel, and drying gel	CHINESE ACAD SCI CHEM INST
CN102489314	Graphene-loaded bimetallic nanoparticles, useful e.g. for methanol/ethanol fuel cells, comprise ethanol aqueous solution, graphene oxide, bimetal nano-particles, sodium borohydride, anionic surfactant and macromolecular dispersing agent	UNIV TIANJIN
CN102489314	Graphene-loaded bimetallic nanoparticles, useful e.g. for methanol/ethanol fuel cells, comprise ethanol aqueous solution, graphene oxide, bimetal nano-particles, sodium borohydride, anionic surfactant and macromolecular dispersing agent	UNIV TIANJIN
CN102569757	Preparation of copper-silicon aluminum nanoporous lithium ion battery cathode material involves smelting and quenching alloy material, chemical etching alloy strip in aqueous hydrochloric acid solution, and crushing porous material	UNIV XIAN JIAOTONG

CN102610814	Nanometer structure composite carbon layer coated lithium electrode material structure for high power battery in e.g. electric tool, has lithium iron phosphate covered carbon layer provided with primary particle surface	JIANGSU YUANJING LITHIUM POWDER
CN1832059	Method for preparing nano-added zinc oxide varistor	GUANGDONG FOSHAN KEXING ELECTRONIC
CN1905251	Magnesium secondary cell has metallic cation-doped vanadium oxide nanotube, molybdenum oxide active material as anode, magnesium as cathode and copper silver ions as doping cations	UNIV NANKAI
CN201985119	Transparent film solar battery for regulating penetration volume of infrared ray through nano film in e.g. greenhouse power generation system, has nano film plated on transparent film solar battery base	ZHANG Y (Individual)
CN202013888	Transparent conductive substrate for solar battery anti-reflecting film, has solar cell placed on upper surface that is zinc oxide buffer layer and zinc oxide nanometer structure film layer	UNIV SOUTHEAST
DE10200404941 3	Method for coating metallic surfaces comprises applying a layer of composition comprising e.g. hydrolysate/condensate of silane and metallic filler on the surface and subsequently drying and/or hardening the coating	VOLKSWAGEN THYSSENKRUPP STEEL
DE10200703049 8	Dipole antenna for photovoltaic, receives electromagnetic waves of sunlight in nanometer range and converting electromagnetic waves into electrical alternating voltages in conductive paths	SCHMITT G (Individual)
DE10200900185 0	Method for producing electrical connection of conductor ends of stator winding of three-phase alternator in motor vehicle, involves welding or soldering conductor ends of stator winding with one another by igniting nano foil	BOSCH

DE10200901726 2	Fluoride based conversion cathode material for e.g. lithium- or natrium ion battery in e.g. portable applications, has alkali metal ions, fluoride ions and metal-nano particle in preset size and distributed in matrix of nano carbon	KARLSRUHER INST TECHNOLOGIE
DE10200904343 5	Lubricating varnish, useful for coating or applying on a metal component and for coating sliding- or rolling bearing component, comprises a base coat as matrix, a lubricant, and additionally a wear protection substance	SCHAEFFLER TECHNOLOGIES
DE10200904558 2	Producing a concentrator for obtaining solar energy, by applying first plastic layer with a silver mirror layer structure by physical vapor deposition and applying second plastic layer on the other side of the silver mirror layer structure	EVONIK DEGUSSA
DE10201001972 3	Electrical insulation system for high voltage rotating machine, comprises sheathed body for current carrying conductor of high voltage rotating machine, exhibiting casting-, molding resin- or polymer formulation as base resin	SIEMENS
DE10201003294 9	Manufacture of isolation system for use in rotary electric machine e.g. motor, involves sticking mica paper and carrier material using adhesive, and impregnating insulating tape with synthetic resin	SIEMENS
DE10201100039 5	Aluminum or aluminum alloy tape for thermal conductive component e.g. electrical contact, has thermally and/or highly electrically conductive particles arranged in sides of outer oxide layer and are partially penetrated through tape	HYDRO ALUMINIUM ROLLED PROD
DE10209793	Nanocrystalline composite used as a varistor or thermoelectric material has non-linear resistance caused by the formation of silicide crystal grains homogeneously distributed in an amorphous matrix	LEIBNIZ-INST FESTKOERPER & WERKSTOFFORS C
EP2311926	Lubricant, useful e.g. in engine oil, gear oil, grease and release agent, comprises ceramic nanoparticles as additives comprising e.g. aluminum oxide, aluminum nitride, silicon dioxide, titanium dioxide, zirconium oxide and yttrium oxide	RHEIN-CHEMIE RHEINAU

EP2368839	Coated metallic component comprises a material composition for turbine component, which is produced from metallic base material, where material composition comprises matrix material with glass-ceramic basic properties and filling material	SIEMENS
FR2931923	Use of sub-fluorinated carbon comprising carbon fluoride type structure and graphitic carbon structure in non-fluoride form of powder, as a solid lubricant	CNRS CENT NAT RECH SCI
JP2003284304	Electric contact apparatus, for e.g. mechanical relay switch, has contactor with carbon nanotube bundle whose one end is fixed to movable conductor and other free end opposes electrode	ANRITSU
JP2005076756	Carbon nanotube sliding component useful as solid lubricant, has carbon nanotube adhered to substrate	NIHON PARKERISING
JP2012164492	Air-electrode catalyst used for fuel cell, consists of carbon nanotubes containing pores having specified pore volume distribution, which penetrates on sidewall	SHOWA DENKO
JP2012186395	Formation of corrugated structure used for device e.g. hydrophobic device, involves forming compound film having silicon-oxygen-silicon bonding through polymer film on substrate and sinking exposure portion	BOEICHO GIJUTSU KENKYU HONBUCH
KR2008038625	Oil-based nanofluid preparing method, involves replacing liquid solvent with predetermined oil, and obtaining nanofluid by dispersing certain volume percentage of metal, non-metal or ceramic-based nano powder in oil	KOREA ELECTRIC POWER
KR2010040606	Electrode for melting lead redox flow battery, has electrolyte lead formed on surface of three-dimensional metal structure, inner gateway arranged on three-dimensional structure, and metal element placed on current collector	KOREA INST SCI & TECHNOLOGY

KR2010101977	Super-hydrophobicity surface fabricating method for ship, involves coagulating macromolecular solution by using cathode oxidation process after macromolecular solution is provided on surface of metal substrate	POSTECH ACAD-IND FOUND
KR2010108849	Complex energy conversion system for solar cell, has heat exchanger for suppressing increase in surface temperature of optical-to-electric converter, and nanofluid feeder for supplying nanofluid to heat exchanger	UNIV PUSAN
KR2010122706	Manufacture of nano manganese oxide catalyst for zinc-air battery, involves spinning solution obtained by dissolving fibrous polymer and manganese oxide precursor in solvent, and heating web to obtain manganese oxide nanoparticles	AMOGREENTECH
KR2011045365	Use of deaggregated nanodiamond particles for modifying viscosity of liquid or molten polymer composition e.g. paint, coating material, liquid fossil fuel, lubricating oil and lubricating grease	NANODIAMOND
KR2011059383	Manufacture of magnetic nanofluid for, e.g. lubricants, involves adding dispersing agent to high-viscosity liquid solvent, adding magnetic nanopowder, dispersing obtained nanofluid with high-energy disperser, and modifying powder surface	KOREA ELECTRIC POWER
KR2011074399	Method for manufacturing lubricant additive that is utilized for ship, involves performing ultrasonic dispersion of spherical graphite nano-particle in lubricating oil	KIM Y S (Individual)
KR2011077200	Spectrum converter for increasing parameter efficiency of polycrystal silicon solar cell, is formed using organic polymer, resistive carbon nano tube distributed on polymer, and inorganic fluorescent substance absorbing infrared radiant ray	KOREA INST ENERGY
KR2012014704	Platinum-palladium alloy catalyzer used for fuel cell, comprises platinum-palladium alloy nanoparticles absorbed on surface of carbon-type catalyst carrier	UNIV SOONGSIL

KR2012089512	Anodal active material for rechargeable lithium secondary battery, has porosity buffer layer provided with air gaps and formed on silicon nano particle core layer, and carbon-based material coating layer formed on porosity buffer layer	UNIV HANYANG IUCF-HYU
KR2012107028	Nanoparticle useful for catalyst for fuel capacitor and fuel cell, comprises core comprising iridium metal, and shell comprising platinum metal	KOREA INST SCI&TECHNOLOG Y
RU2356938	Lubricating composition for machinery used in nanotechnologies, comprises lubricating components such as oils or greases and detonation synthesis (non)fractionated nanodiamonds which provide colloidal stability and preset zeta potential	PUZYR A P (Individual)
RU2431545	Method of producing permanent magnet from strontium hexaferrite powder includes synthesizing strontium hexaferrite powder from aqueous solutions of individual sulphates in stoichiometric ratio corresponding to final product	UNIV ASTRAKHAN
RU99650	Uninsulated wire for air electric power lines, is made of steel or covered with zinc wire parts and provided with inner and outer layers, where diameter of wire parts of inner and outer layers is increased according to tolerance range	KIRSABEL STOCK CO
US2004046470	Making an amorphous metal magnetic component for electric motor, by winding ferromagnetic amorphous metal strip, bonding each layer of wound cylinder to adjacent layers with adhesive agent, and cutting slots in cylinder annular faces	HONEYWELL METGLAS
US2004150285	Electric motor used as, e.g. squirrel cage motors comprises low-loss bulk amorphous metal magnetic component comprised of layers of amorphous metal strips laminated together with adhesive agent to form polyhedral shaped part	METGLAS
US2005276977	Diamond like coating on small particles for insulating paper or insulating tape, comprises small particles in specific size range, and diamond like coating, which is distributed over specific percentage of surface of small particles	SIEMENS WESTINGHOUSE POWER

US2006208606	Permanent magnet electro-magnetic device e.g. electric motor, has rotor providing magnetic interaction with stator assembly having stator cores made with soft materials, where rotor is constructed with permanent magnet material	LIGHT ENG
US2009036335	Intermetallic compound production used in lubricating oil for reduction of friction on metal surfaces by employing reduction and formation reaction onto crushed nanometer spherical particles of iron nitrides and carbonitrides	PETROBRAS
US2010207053	New iron-aluminum catalyst, useful to prepare carbon nanotube, which is useful e.g. as electrical conductive and strength enhanced filler in polymer composite material, and thermal conductive and strength enhanced filler in metal composite	KOREA KUMHO PETROCHEMICAL
US2011104576	Lithium-oxygen electrochemical cell in battery comprises lithium-containing anode, oxygen-permeable cathode of oxygen-permeable support with carbon nanotubes with open end, non-aqueous electrolyte of lithium salt, and gaseous oxygen source	UCHICAGO ARGONNE
US2011124253	Carbon/carbon composite useful in article, e.g. brake rotor or a portion of hypersonic aircraft comprises carbon matrix, and woven or non-woven carbon nanotube-infused carbon fiber material	APPLIED NANOSTRUCTUR ED SOLUTIONS LOCKHEED MARTIN
US2011124483	Composite material useful in composite article e.g. rotors and drive shafts, comprises ceramic matrix comprising cement, carbon nanotube-infused fiber material, and passivation layer overcoating carbon nanotube-infused fiber material	APPLIED NANOSTRUCTUR ED SOLUTIONS LOCKHEED MARTIN
US2011151335	Lithium-sulfur cell, useful in lithium-sulfur battery, comprises an anode structure (e.g. elemental lithium), a cathode structure, and an electrolyte section abutting to the cathode structure	BOSCH

US2011171533	Composition of matter used e.g. in optical device, photovoltaic cell, and lithium battery anode, comprises mesoporous oxide of titanium having microstructure of specific surface area, specific pore volume, and specific average pore diameter	DU PONT
US2011226509	Electrical transmission line for transmitting electricity for electric train, is made of composite material in which aluminum and carbon nanotubes combined, where weight ratio of carbon nanotubes to aluminum is specific weight percentage	LG CABLE
US2011227001	New mixed oxide and fluoride of lithium and transition metal used in electrochemical cells and as a power source in mobile units such as automobile, bicycle, aircraft, computer, telephone, water vehicles such as boats/ships, or power tool	BASF
US2011232940	Dielectric composition, useful in e.g. electrical device, such as high voltage transformers, comprises ester liquid or water, and additive to ester liquid having a lower ionization potential than ionization potential of the ester liquid	MASSACHUSETT S INST TECHNOLOGY
US2011256469	Depositing platinum adlayer on ruthenium nanoparticle in homogeneous composition of direct methanol fuel cell for portable power applications, comprises ethylene glycol reduction comprising cleaning surface of ruthenium nanoparticle	UNIV GEORGETOWN
US2011297217	Multi-junction energy-converting device e.g. colloidal-quantum-dot-based tandem solar cell, for converting light energy into e.g. photo-generated electron, has recombination region forming stepwise gradient in work function	UNIV TORONTO
US2012031487	Nanoscale metallic structure for solar cell electrode comprises substrate transparent to visible light, grating structure of polymeric bars attached to substrate, and metal rails each attached to side wall of polymeric bars	UNIV IOWA

US2012080970	Litz wire used in e.g. motor comprises twisted strands of composite magnet wire having electrical insulating nanocoating that includes alumina nano particles of phenyl siloxane surface coating homogeneously dispersed in polyimide matrix	GENERAL ELECTRIC
US2012088154	Rechargeable lithium-sulfur battery comprises cathode comprising nanocomposite comprising graphene sheets with particles comprising sulfur adsorbed to graphene sheets and having specific average diameter, and electrolyte	BATTELLE MEMORIAL INST
US2012094213	Solid oxide electrolyte membrane for use in e.g. solid oxide fuel cell, has insulating layer formed as conformal layer on single surface, where insulating layer comprises nano-grains with specific average crystal grain size	SAMSUNG ELECTRONICS
US2012100424	Multi-layered cathode active material useful in cathode of electrochemical device e.g. magnesium battery, comprises two titanium disulfide-based nanosheets in multi-layered structure, and layers each having thickness of specified value	SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS
US2012112121	Heat transfer fluid emulsion, useful e.g. in nanotechnology-based cooling applications and as lubricants, comprises a heat transfer fluid, and liquid droplets (which comprise a metal or metal alloy) dispersed within the heat transfer fluid	UNIV MARYLAND COLLEGE PARK
US2012117937	System for minimal loss electric power transmission comprises externally doped nanoring containing circulating electrons and electric power source coupled to end of nanoring	COOKE L H (Individual)
US2012152590	Composite magnet wire, useful e.g. in motors, comprises a metal wire, and a coating applied to an outer surface of the wire, where the coating comprises a polyimide polymer and many alumina nanoparticles dispersed in the polyimide polymer	YIN W (Individual)

US2012174971	Multi-junction solar cell used to characterize gallium-arsenide-nitrogen quantum well comprises two sub-cells where one sub-cell contains quantum well fabricated with semiconductor alloy of gallium, arsenide, and nitrogen with fine bandgap	UNIV HOUSTON
US2012178002	Electrode, useful in electrochemical cells e.g. cadmium-air batteries, and in a process for operating an equipment, comprises a solid medium, an electrically conductive, carbonaceous material, an organic polymer and a metal compound	BASF
US2012201487	Solid lubricant for bearing useful in e.g. metal industry, food and beverage industry, paper industry comprises graphite, binding material and inorganic lubricating nanoparticles	SKF
US2012202067	Composite particle used as e.g. polishing medium, additive in a lubricant comprises a nanoparticle attached to a surface of a micron diamond particle by a covalent bond and/or an intermolecular force	BAKER HUGHES
US2012206085	Rectified antenna i.e. rectenna, for use in photonic collection device for generating direct current electricity from harvested microwave energy for collecting solar energy, has rectifying barrier coupled to carbon nanotube structures	CARBON DESIGN INNOVATIONS
US2012247545	Graphene-based multijunction flexible thin-film solar cell e.g. triple-junction graphene photo cell, for converting light to electricity, has sub-cell comprising n-type semiconductive graphene stacked on p-type semiconductive graphene	CALIFORNIA INST OF TECHNOLOGY
US2012251917	Solid oxide fuel cell for large-scale power generation comprises anode support; solid electrolyte layer; and nanostructure composite cathode layer containing electrode material and electrolyte material mixed in molecular scale	KOREA INST SCI&TECHNOLOGY

US2012282456	Composite used in articles e.g. piston or gasket comprises synergistic combination of epoxy resin particle having solid lubricant nanoparticles disposed on the outer surface of the epoxy resin particle	UNIV FLORIDA
WO200246101	Production of carbon-coated lithium titanate particles useful for making electrodes comprises heating a dispersion of a titanium oxide, a lithium compound and carbon	HYDRO-QUEBEC
WO2004036602	Nanocomposite magnet for use in motors and actuators comprises hard magnetic phase of specified crystal structure and soft magnetic phase	SUMITOMO SPECIAL METALS
WO2005005679	Super-liquidphobic substrate, e.g. used for cooking vessels, aircraft fuselage, comprise surface(s) and several nanofibers comprising exogenous liquidphobic material(s)	NANOSYS
WO2005114682	Electrical transformer core for electricity meter is made of soft magnetic iron alloy	VACUUMSCHMEL ZE
WO2006108814	Protective layer for an electric machine's/motor's winding head consists of a moisture-repellent material with a nano-structured surface	SIEMENS AG
WO2008007345	Manufacture of magnet core used in inductive component such as choke for power factor correction, involves pressing mixture of amorphous coarse grain particle fraction with nanocrystalline fine grain powder particle fraction	VACUUMSCHMEL ZE
WO2008048938	Spring contact structure for interposer, has reversibly deformable region formed between ends of column, which deforms elastically and axially along length of column according to force applied to predetermined end of column	FORMFACTOR
WO2008091406	Composite coating composition for applying to substrate including gears, ball valves, comprises lubricant, hard ceramic and ductile metal phases for providing lubrication, structural integrity and wear resistance to surface respectively	INFRAMAT

WO2009122414	Solar system has refraction array including at least one refraction sub-array, converting array including broadband converting cells, where refraction sites refract variable approach-angle collimated solar radiation into solar rays	MOSAIC CRYSTALS
WO2009127672	Preparing lithium-iron-phosphate compounds, useful for preparing cathode, comprises providing mixture comprising lithium- and iron-comprising compounds and reducing agent, which is oxidized to phosphorus-comprising compound, and calcining	BASF
WO2009135030	Open electrochemical cell for rechargeable battery e.g. metal-air battery used in functional device, includes cathode which comprises catalyst, electronic conductor, and hydrophobic gas permeable binder	BATTELLE MEMORIAL INST
WO2009144267	Preparing lithium-vanadium oxide, useful e.g. in electrochemical cells, comprises producing a solution/suspension of water, water soluble lithium salt and water soluble vanadium compound, drying the solution/suspension, and calcinating	BASF
WO2009156386	Component useful as electrical contact element, comprises layer with carbon nanotube structure incorporated into grains, where particles of dry lubricant is embedded into layer and surface of the layer is formed as electric contact area	SIEMENS
WO2010005147	Flame-retardant resin composition useful in electric cable comprises base resin including polyolefin resin and polar-substituted reactive olefin resin, modified nanoclay, inorganic flame retardant and zinc borate secondary flame retardant	LG CABLE
WO2010024056	Grease composition for sliding component, contains base oil, metal soap thickening agent containing metal(s) chosen from lithium, magnesium and aluminum and fatty acid, and nanoparticles containing oxide, carbide and/or diamond	NISSAN MOTOR

WO2010053174	Positive electrode used for lithium secondary battery, comprises lithium-manganese-iron phosphate and lithium-nickel-manganese-cobalt complex oxide	GS YUASA
WO2010053270	Resin composition for treating surface of steel sheet, comprises binder resin, graphene and solvent	POSCO
WO2010058530	Manufacture of sliding component used for internal combustion engine of motor vehicle, involves forming lubricant film on sliding face slid of companion component by plasma processing of lubricant-film raw material	HONDA MOTOR
WO2010066647	Barrier composite material, useful against the ingress of water in sensitive device e.g. photovoltaic cell, comprises homogeneous dispersion of superficially functionalized nanozeolites e.g. Linde Type A, in a polymerizable compound	SAES GETTERS SPA
WO2010090479	Manufacture of nanoparticles used as e.g. solid fuel, involves ball milling and pulverizing mixture of carbon nanotube and powder particles	DAYOU SMART ALUMINIUM
WO2010098646	Heat-molecular battery for generating electricity, comprises electrolyte solution containing electron carrier, and cathode and anode whose surface(s) is coated with semiconductor layer containing silver, germanium and/or gallium arsenide	UNIV SUNGKYUNKWAN
WO2010113482	Nanocomposite bulk magnet for motor and sensor, contains powder particles containing transition metal element-type crystal phase and alpha-iron phase, and transition metal element-boron carbide-containing component	HITACHI METALS
WO2010118336	Preparing electric insulation, useful in e.g. electrical machines/motors, bushings, transformers and surge arresters, comprises providing modified nanoparticles and dispersing the nanoparticles in a polymer matrix to provide nanocomposite	RENSSELAER POLYTECHNIC INST

WO2010118762	Single-piece winding for producing homogeneous magnetic fields, comprises a wound electrical conductor having an electrical insulator, where two electrical conductors are arranged on a carrier having a bent form	SIEMENS
WO2010126767	Air cathode for metal-air battery/fuel cell, comprises porous membrane, conductive catalytic film having single walled carbon nanotubes, unit for electrically connecting external circuit to portion of the film, and conductive carbon fibers	UNIV FLORIDA
WO2010135248	New polymer comprising 9H-fluorene, fluoren-9-one and phenyl repeating units useful in polymer composite material and for making a silicon electrode, which is useful in a lithium ion battery	UNIV CALIFORNIA
WO2010150857	Composite nanoporous electrode material for battery, includes porous structure and pore wall containing lithium-manganese phosphate and carbon, and has preset value of specific surface area, carbon content and crystalline diameter	UNIV NAGASAKI
WO2011011714	Lubricant additive, useful in e.g. a crankcase of an internal combustion engine and heavy duty vehicles and mechanisms, comprises a base oil, colloidal nanocarbon particles and a fluorine containing oligomeric dispersant	INT TECHNOLOGY CENT
WO2011015337	Non-hydroxide grease composition used for lubricating e.g. bearing comprises base oil and thickener which comprises amorphous hydrophilic silicon oxide particles of specific surface area and metal salt of different organic acids	SKF
WO2011040022	Negative-electrode active material used for lithium ion secondary batteries, comprises tin oxide nanoparticles supported on electroconductive carbon powder in highly dispersed state	NIPPON CHEMICON
WO2011044778	Polymer ion exchange membrane i.e. polybenzimidazole type polymer, for full vanadium flow energy storage battery, has nitrogenous heterocyclic structure interacting with acid to form donor-receptor proton transport network	CAS DALIAN CHEM&PHYSICAL INST

WO2011053457	Composition, useful e.g. in thermal insulation applications, ballistics protection and high performance applications including jet engine turbine blades and missile nose cones, comprises a carbon nanotube-infused ceramic fiber material	APPLIED NANOSTRUCTURED SOLUTIONS LOCKHEED MARTIN
WO2011090133	Composite electric wire is formed by intertwining several wire materials containing aluminum element wires having composite material containing aluminum material and carbon nanotubes dispersed in aluminum material	FURUKAWA ELECTRIC
WO2011115333	Semiconductive composition for insulation of power cable, contains specified amount of polyolefin base resin, carbon nanotube and organic peroxide crosslinking agent	LG CABLE
WO2011118935	Lubricating oil composition, useful for reducing a friction coefficient adjacent to the surface of being subjected to lubrication, comprises a lubricant e.g. polyol ester, and nanoporous particles e.g. silica	SK LUBRICANTS
WO2011122742	Insulation material composition for a direct current (DC) power cable comprises surface-modified nano-sized cubic magnesium oxide, and cross-linked low-density polyethylene base resin	LG CABLE
WO2011154829	Sheathed carbon nanotube fiber useful as conductive cable fiber, comprises a carbon nanotube fiber; and a cellulose sheath extending co-axially along at least a first portion of a length of the carbon nanotube fiber	RENSSELAER POLYTECHNIC INST
WO2012011170	Catalyst fine particles for fuel cell, comprise central grain element containing palladium alloy, outermost layer of platinum, and intermediate layer containing elemental palladium provided between central grain element and outermost layer	TOYOTA
WO2012060418	Manufacture of resin material for solar cell modules, involves making resin to contain nano silicon fine particles prepared as wavelength conversion material which absorbs light of preset wavelength and emits light of another wavelength	BRIDGESTONE

WO2012064768	Metal nanotube useful as catalyst in fuel cell, gas separation cell, electrolyzer and solar hydrogen cell for oxygen reduction and methanol and alcohol oxidation reactions, comprises specific metal composition	YAN Y (Individual)
WO2012106090	Oil composition, useful in electric motor, comprises base oil (e.g. natural oil) containing hydrocarbon, and first additive containing many derivatized first additive nanoparticles dispersed within base oil to form modified oil	BAKER HUGHES
WO2012125138	Catalyst layer, useful in unitized electrode assembly for a fuel cell, comprises catalytic nanoparticles (having palladium or palladium alloy core and atomically thin layer of platinum or platinum alloy), and perfluorosulfonic acid ionomer	UTC POWER
WO2012125389	Nanoarchitected multi-component electrode material useful for an energy storage device comprises carbon-coated iron-molybdenum mixed oxide	IMRA AMERICA
WO2012133017	Catalyst for anodes of fuel cells, comprises platinum-ruthenium alloy having particle diameter of preset range, supported on carbon material, with coordination numbers of platinum and ruthenium atoms satisfying specific relationship	UNIV HOKKAIDO

Anexo B: Crônica de um futuro desejável

SMART KIDS

Autor: Alexandre Pinhel Soares

O menino entrou aos pulos na sala tirando suas chuteiras e os meiões, deixando tudo pelo caminho. Seu pai certamente reclamaria, mas ele não estava nem aí, só pensava no brinquedo novo. Derrapou no corredor e continuou em trajetória balística até a porta da cozinha. Pressionou o polegar na fechadura, empurrou o derradeiro obstáculo e correu para a parede de números. Bufou foi até a janela e olhou para o céu.

O Sol queimava sem piedade e mesmo assim não dava pra ligar. Se pelo menos o carro estivesse lá teria como dar um jeito. Bufou novamente. “Malditas baterias!”

Sua fúria era justificada, pelo menos do seu ponto de vista. O pai determinara que o brinquedo novo, um sistema holográfico de batalha, o melhor da rua, só poderia ser utilizado se a casa estivesse carregada, pois ele consumia muito, principalmente quando tinha que projetar de dia. Apesar do espantoso rendimento da nova célula que o pai comprara, esta normalmente ficava desligada por causa do calor que gerava. Então não tinha jeito, só restava aguardar a bateria.

O menino gostava mais quando a célula ficava ligada, o barulhinho era gostoso para dormir, mas o pai reclamava que o preço do gás tinha subido muito e que o Sol era de graça. “Papai vive reclamando do preço do gás mas comprou essa porcaria de bateria”.

A nova “porcaria” de porcaria nada tinha. E quase não ocupava espaço. “Deve ser isso, é muito pequena” pensava o menino. Mas pequeno era ele para saber que tamanho não é documento. Mas era bem verdade que a “pequena” não era perfeita. Tinha um probleminha que exigiu mudanças na casa. Afinal, como todos sabem, é pecado desperdiçar o Sol.

Tudo isso passava pela cabeça do menino enquanto ele andava à esmo, contando os passos e os números vermelhos na parede da cozinha. O jeito era arrumar algo pra fazer. Abaixou e começou a catar pedrinhas. Ele sabia que não era muito certo acertar os pássaros, mas o pai não se importava, parecia até gostar. Ele fazia algo parecido quando garoto, só que na rua, quando havia fios onde os pássaros pousavam. Mas não há mais fios nas ruas. A energia não vem mais de longe, agora mora com eles.

Com as mãos cheias, procurou seus alvos, e lá estavam eles onde deveriam estar mesmo: pousados no coletor solar cujos reflexos coloridos eram irresistíveis para os insetos, transformando o local em uma mesa de banquete para os pássaros que, por sua vez, achavam que o local também era banheiro. O pai ficava irado com isso pois no final das contas, de tão sujo, acabava funcionando como os velhos painéis do telhado. Mas, pelo menos, era mais bonito, dava um ar moderno à casa. E os vizinhos tinham inveja.

Escolheu a vítima e se preparou para atirar: Preparar, apontar, fog... Não deu tempo. O girassol se moveu buscando avidamente um pouco mais de luz. Os pássaros voaram assustados fazendo um barulho que, aos seus ouvidos, soaram como risadas debochadas. Deixou as pedrinhas caírem e suspirou desconsolado. Estava difícil achar o que fazer hoje. Distraído que estava, não o viu chegar, sorratamente, por trás ...

O outro vinha observando atentamente as ações do menino e calculou com precisão sua manobra. Bastaram uns poucos meses de treinamento no brinquedo para fazerem dele um soldado de elite. Caíram no chão, sem gritos ou reclamações, afinal estavam acostumados à violência. “Ótimo! Tinha aparecido algo para fazer!”. E aquela dor era ainda melhor que a virtual. Esqueceram até o que estavam esperando.

Com o crepúsculo iminente a casa desistiu do Sol e começou a transformação. Saíram do transe e correram para a cozinha. A parede de números foi camarada dessa vez. Dispararam pra dentro de casa, pegaram seus capacetes e luvas e voltaram para o quintal a tempo de ver os últimos raios do Sol antes de serem engolidos por um azulado e brutal mar de luz.