



Caracterizações tecnológicas e ambientais dos países desenvolvidos e em desenvolvimento

Rosa Livia Gonçalves Montenegro¹

Gustavo Britto²

Leonardo Costa Ribeiro³

Resumo: Os danos ambientais gerados pelas atividades econômicas e institucionais são preocupações recorrentes na pauta econômica atual. Despejos de resíduos industriais, espalhados pela água e pelo ar, bem como as emissões de gases poluentes ultrapassam fronteiras dos países, cujos efeitos externos têm provocado o desenvolvimento de soluções alternativas de tecnologia. Nesse quesito, a inovação é o papel chave para que os países encontrem respostas diante dos desafios ambientais e, simultaneamente, promovam oportunidades para esses novos estímulos. Assim, o objetivo deste trabalho é identificar possíveis transições à capacidade ambiental dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Para atingir esse propósito, a pesquisa analisa o desempenho das inovações ambientais nos anos de 1990, 2000 e 2010, considerando elementos que revelam os diferentes graus de Sistemas Nacionais de Inovação. A articulação de duas técnicas metodológicas, a saber, Análise de Clusters e Análise Discriminante permitiram avaliar a transição entre grupos de quarenta economias mundiais nos períodos de análise. As técnicas utilizadas revelaram contribuições à literatura evolucionária e avanços quanto à evolução dos Sistemas Nacionais de Inovação dos países em desenvolvimento. As transições identificadas contribuem para as estratégias de políticas em desenvolvimento tecnológico ambiental.

Palavras chave: Sistemas Nacionais de Inovação; inovação ambiental; Análise de Cluster; Análise Discriminante.

Abstract: Environmental damage caused by economic and institutional activities are a recurring concern in debates on the economic subject. The disposal of industrial wastes vectored by water and air and the emissions of polluting gas go beyond borders. Their external effects triggered the development of alternative technological solutions. Innovation has a key role so that countries may react against environmental challenges and, at the same time, enhance opportunities for new stimuli. Due to the great relevance and international traits of environmental issues, the objectives for a more sustainable planet become crucial for all countries. They require a wide diffusion of new technologies, support by institutions and new paradigms for production, consumption and disposal of wastes. Current work identifies possible conditioning factors to the environmental capacity of developed and developing countries. Research analyzes the performance of environmental innovations during the 1990s, 2000s and 2010s taking into account the factors that reveal the different degrees of the National Systems of Innovation that trigger the environmental technological development. The formulation of two methodological techniques provided a static mapping of specific transitivity among groups of forty world economies during analysis and of interaction between scientific areas and technological fields as from environmental patents. Clusters Analysis and Discriminating Analysis were applied. Main results contribute towards evolutionary literature and progress (albeit smaller) with regard to the evolution of the National Systems of Innovation of developing countries. These traits contribute towards policy strategies in environmental technological development.

Keywords: National Systems of Innovation; Environmental Innovation; Cluster Analysis, Discriminant analysis . JEL Code: O3; O33; Q55

Área 4- Redes e Sistemas urbanos, regionais e nacionais - Subárea 4.5-Inovação, desenvolvimento e sustentabilidade

¹ Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ). Email para contato: rosalia@gmail.com

² Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

³ Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO)

1- Introdução

Ao longo das últimas décadas, o desenvolvimento de políticas, a eliminação de barreiras comerciais e as inovações tecnológicas, especialmente no campo dos transportes, energia e das telecomunicações, abriram espaço para o aumento da internacionalização política e econômica. Além dos incentivos à industrialização, o progresso tecnológico em diversos setores na economia contribuiu para que os desdobramentos do crescimento econômico sobre o meio ambiente aumentassem. A atenção para com a sustentabilidade e o meio ambiente surgiu no início dos anos 70 e as questões políticas ambientais apareceram de forma proeminente na agenda acadêmica na década de 1980, época em que o debate deste tema emergiu no âmbito econômico (VAN DEN BERGH, 1999). Nesse contexto, as agressões ao meio ambiente se tornaram mais sérias e mais visíveis com o crescimento econômico e com a integração da economia mundial, tanto no centro quanto na periferia do capitalismo global.

Os problemas ambientais em questão referem-se àqueles que dificilmente respeitam as fronteiras dos países. São caracterizados por resíduos gerados pelos setores produtivos, pelos consumidores e espalham-se através do ar, da água para outros países e até globalmente, como no caso dos clorofluocarbonos (FREEMAN; SOETE, 2008). Em virtude do caráter internacional dos problemas ambientais, as metas para um mundo com mais sustentabilidade são requeridas para todos os países e exigirão uma ampla difusão de novas tecnologias, apoio de instituições e novos paradigmas de produção, consumo e descarte de resíduos. A natureza multidimensional, tanto dos problemas como das soluções, exige que organizações supranacionais, como as Nações Unidas, por exemplo, tenham um papel decisivo nas mudanças e desafios ambientais que se acumulam globalmente (FREEMAN; SOETE, 2008).

O fato é que a partir da década de 1990, as transações econômicas internacionais, principalmente o comércio internacional e o investimento estrangeiro direto aumentaram consideravelmente. Dessa maneira, a preocupação com o crescimento econômico sobre o meio ambiente aumentou e vem aumentando, de modo que os problemas relacionados às mudanças climáticas e à rápida degradação dos recursos naturais fazem os países desenvolvidos e em desenvolvimento procurarem novas alternativas de produção.

Por esta razão, as mudanças de paradigmas requerem esforços sistemáticos para a resolução dos problemas que as tecnologias e sistemas produtivos não conseguem solucionar. Para a busca das respostas, a inovação é a palavra chave para que os países encontrem soluções diante dos desafios ambientais, e promovam oportunidades que surjam destes mesmos desafios. Nesse sentido, as inovações investigadas terão o aspecto ambiental e a definição baseada em Rennings (2000), que interpreta as inovações ambientais como inovações que caracterizam processos novos ou modificados, além de produtos, sistemas e métodos que beneficiam e contribuem para a preservação do meio ambiente.

Desta forma, o presente artigo tem por objetivo avaliar de que forma os padrões de inovações ambientais incorporados nos países transitam entre diferentes grupos, isto é, a partir da formação de grupos distintos, de que forma as características dos países mudam entre os anos de 1990, 2000 e 2010. Logo, o artigo é composto por 5 seções além desta introdução. A próxima seção abordará o tema Inovação Ambiental e sua interrelação com os Sistemas Nacionais de Inovação e, em seguida, é exposto a base de dados e a metodologia aplicada no artigo. Por fim, são tecidos os resultados e as conclusões do artigo.

2- Inovação Ambiental e os Sistemas Nacionais de Inovação

O desafio colocado ao desenvolvimento tecnológico condiciona a criação de estratégias que levam a soluções e à diminuição dos impactos causados pelas atividades industriais. Espera-se que as soluções proporcionadas pelas tecnologias ambientais sejam intensificadas rapidamente ao longo de 10 a 30 anos (TGCI, 2014). Além disso, os principais agentes envolvidos nesse processo seriam as agências governamentais, empresas, institutos de P&D que, de forma proativa, não deveriam medir esforços para a transição de tecnologias mais sustentáveis, em nível global.

Da mesma forma, a necessidade de estabelecer estratégias a favor do meio ambiente vem motivando governos a desenvolver e implementar políticas de transição do paradigma industrial da economia tradicional para um modelo mais pautado para os princípios do desenvolvimento sustentável. O termo

desenvolvimento sustentável⁴, segundo a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente (CMMAD, 1988), caracteriza a satisfação das necessidades da atual geração sem comprometer a capacidade das vindouras.

O conceito de desenvolvimento sustentável, apesar de parecer simples, é complexo e configura a preocupação com a exploração desordenada de recursos, o que também ressalta a importância do desenvolvimento tecnológico e o envolvimento das instituições no atendimento às necessidades das gerações existentes e das futuras (CMMAD, 1988). Do mesmo modo, as definições de inovações ambientais existentes na literatura possuem uma ampla diversidade em seu significado, pois incorporam, além da temática tecnológica ambiental, diversas características inerentes ao processo de inovação e de mitigação dos impactos ambientais. Com o desenvolvimento tecnológico, pode-se dizer que as mudanças na concepção sobre a inovação ambiental são relativamente novas (Lucchesi, 2013; Arruda e Carvalho., 2014), permitindo que diversos significados sejam incorporados ao termo tecnológico ambiental.

Rennings (2000) ainda ressalta que as ecoinovações reduzem o impacto ambiental causado pelas atividades de produção e consumo. Podem ser definidas como sendo o resultado da interação entre agentes e atores (empresas, universidades e centros de pesquisa) capazes de desenvolver e aplicar novas ideias em produtos e processos que contribuam para a mitigação dos impactos ambientais. Da mesma forma, Arundel e Kemp (2009) revelam o conceito de eco inovação como sendo a produção, assimilação ou exploração de um produto, processo, serviço ou gestão nos quais os resultados implicam numa redução de impactos ambientais.

Nesse sentido, a resposta requererá uma explicação mais detalhada da definição das inovações ambientais, assim como uma análise mais aprofundada de suas propriedades. De modo geral, as inovações ambientais podem ser definidas como aquelas que caracterizam processos novos ou modificados, além de produtos, sistemas e métodos que beneficiam e contribuem para a preservação do meio ambiente (RENNINGS, 2000). É evidente que o impacto positivo da inovação ambiental torna-se o elemento chave da sua definição. Entretanto, conforme já explicitado, o impacto ambiental observado pode ser ou não intencional, assim como local ou global. Logo, sua classificação como uma inovação ambiental dependerá da sua significativa contribuição *vis à vis* às tecnologias atuais ou convencionais.

Na mesma concepção de Arundel e Kemp (2009), os autores Oltra e Saint Jean (2009) definem as inovações ambientais como sendo aquelas que incorporam um processo novo ou modificado, além de práticas organizacionais e produtos que minimizam o impacto do meio ambiente. Assim, as inovações ambientais também são denominadas como inovações sustentáveis, que podem lidar com essa dualidade entre a introdução de um novo produto, processo e/ou sistema que seja capaz de reduzir e evitar os danos ambientais (KEMP; ARUNDEL, 1998; RENNING; ZWICK, 2003).

Geralmente, estudos empíricos relacionados à inovação ambiental descrevem esse tipo de inovação como sendo intencional ou concentrada, com características que a distinguem das inovações tradicionais cujos produtos levam o rótulo ambiental. Como exemplo, pode-se citar o caráter intencional do impacto ambiental da chamada “eco indústria”, no qual a inovação ambiental é o *core business* (OLTRA, 2008). O impacto ambiental positivo pode ser apenas um efeito secundário de uma inovação que, *a priori*, não possui o objetivo de ser ambiental. Na prática, é extremamente complexo identificar e avaliar os ganhos com as inovações que não possuem o caráter intencional de ser “ambiental”, posto que as vantagens adquiridas pelas inovações não ambientais, talvez não estejam inseridas no conceito de inovação ambiental. A explicação é bastante subjetiva e complexa, sendo que a partir do conceito de inovação ambiental podem-se derivar muitas outras questões, principalmente quanto ao seu objetivo e seu impacto. Em suma, observa-se que a definição de inovação tem como ponto de apoio o Manual de Oslo (OECD, 2005), com o acréscimo do caráter ambiental.

Desse modo, a definição de inovação ambiental que mais se assemelha a sua finalidade e que será utilizada neste artigo é caracterizada por toda produção, exploração e assimilação de um produto, processo de produção, serviços ou métodos de gestão, sendo novo (em desenvolvimento ou adoção) para a

⁴ O conceito de desenvolvimento sustentável admite que a capacidade de um sistema econômico em satisfazer as necessidades humanas em longo prazo dependerá das condições de viabilidade do meio ambiente e de tecnologias de consumo e produção. Nesse caso, as tecnologias se tornam a parte essencial das mudanças tecnológicas, sejam por intermédio da rápida difusão das tecnologias dinâmicas que já existem ou pelas atividades inovativas que desenvolvam novas tecnologias (FREEMAN; SOETE, 2008).

organização, e que se configura, ao longo do seu ciclo de vida, em uma redução do impacto ambiental, da poluição e outros impactos negativos da utilização de recursos (incluindo o uso de energia) em comparação com as alternativas correspondentes (MEI, 2008).

Diversos estudos empíricos sobre a temática da inovação ambiental têm buscado identificar seus determinantes tanto em nível das firmas, como também para os setores de atividades econômicas (BRUNNERMEIER; COHEN, 2003; JAFFE; PALMER, 1997; RENNINGS *et al.*, 2006). Alguns pontos em comum foram observados nos trabalhos analisados, entre eles informações sobre: custos relacionados à mitigação da poluição. Estes são diretamente atrelados às conformidades ambientais; gastos em P&D direcionados às políticas e projetos ambientais realizados pelas firmas; pesquisas sobre a concepção de políticas ambientais, cujos questionários são direcionados para questões sobre o rigor, flexibilidade e estabilidade de legislações ambientais, além da importância dos instrumentos econômicos utilizados.

O fato é que as medidas de regulação dependem do tipo de instrumentos utilizados e do modo pelo qual é feito esse processo de implementação. Apesar do incentivo ao papel da regulação, as inovações ambientais não devem ser consideradas apenas como uma resposta sistemática a um conjunto específico de normas. Ao contrário, outros elementos relacionados aos fatores de mercado e às capacidades tecnológicas das firmas também determinam qual a reação ou resposta tecnológica diretamente regulada.

Quanto aos Sistemas Nacionais de Inovação, desenvolvido nos anos 80, por Freeman (1987), Lundvall (1995) e Nelson (1993) deve-se muito às percepções e contextos históricos, revelando diversos desdobramentos de acordo com as interações entre instituições, organizações e investimentos envolvidos. A literatura sobre SNIs tem como principal enfoque a rede de interações entre instituições de setor público e privado. A ideia que há por detrás das interações é de que as inovações são geradas a partir de diferentes aspectos e esforços dos agentes envolvidos e que propiciam também a capacidade inovativa dos países. Em outras palavras, os sistemas de inovação somente impulsionam e proporcionam o desenvolvimento tecnológico quando existe um fortalecido processo interativo entre os agentes e atores participantes.

A complexidade que envolve o conceito de SNI é resultante de uma ampla diversidade de elementos que atuam tanto no aspecto da firma individual (nível micro) como em uma dimensão sistêmica (nível macro). Os fatores envolvidos no processo sistêmico mostram que o ambiente nacional possui uma considerável influência para estimular, facilitar e até mesmo inibir as atividades inovativas das firmas (FREEMAN; SOETE, 2008). Esses mesmos elementos supracitados podem ser caracterizados como o resultado da interação entre os agentes econômicos, entre as firmas usuárias e produtoras, entre as firmas e instituições de pesquisa e entre firmas e universidades.

As oportunidades e a acumulação de vantagens tecnológicas devem ser consideradas também pelos diferenciais existentes entre os países avançados e os menos desenvolvidos, principalmente pelo processo de difusão de inovações, incluindo a imitação e as transferências de tecnologia. Estas últimas são mais propícias de ocorrerem nos países em desenvolvimento (DOSI *et al.*, 1990). Nesse caso, seria exatamente nesse contexto sobre a evolução dos resultados da acumulação tecnológica de todas as melhorias e esforços, que é reconhecido o desenvolvimento das trajetórias tecnológicas existentes nos Sistemas Nacionais de Inovação.

O grande desafio às modernas sociedades requer mais do que inovações tecnológicas. As mudanças requeridas concentram-se ao longo de toda a cadeia de produção, no fluxo de suas atividades, no comportamento dos atores envolvidos, desde extração dos recursos até o consumo final de bens e serviços. Cabem aqui algumas ressalvas no sentido de que o desafio da construção de uma nova trajetória tecnológica ambiental estaria mais centrado no entendimento da coordenação de Sistemas de Inovação, os quais envolvem os campos (científico, tecnológico, econômico, político e cultural). Cada um desses aspectos possui sua própria e única característica, assim como uma difusão tecnológica bem sucedida, que depende de certa maneira, de algum grau de congruência entre eles (FREEMAN, 2002).

A justificativa para o estudo referente ao SNI e à análise relacionada às inovações ambientais seria a conciliação entre o fomento de tecnologias ambientais que pudessem garantir a mitigação de impactos ambientais, maior economia e eficiência energética, melhor qualidade de vida à população paralelamente ao crescimento econômico dos países. Com o aumento da preocupação quanto aos problemas ambientais enfrentados em todo o mundo, o padrão de desenvolvimento econômico observado no século XX enfrenta obstáculos difíceis de serem ultrapassados. Um deles seria o fato de que uma difusão tecnológica ambiental

atrelada a um novo padrão de mudança institucional que não seria possível de se realizar a curto prazo (FREEMAN, 2002). No entanto, estudos e pesquisas nessa direção possibilitam entender e absorver melhor as mudanças relevantes a níveis tecnológico, institucional e em relação ao comportamento dos agentes no mercado (BERKHOUT, 2005).

3- Base de dados e Abordagem Metodológica

A presente seção descreve todas as variáveis selecionadas para a aplicação das técnicas metodológicas neste artigo. A base de dados utilizada foi construída a partir da conjugação de diferentes fontes, como os dados de patentes do EPO; dados de artigos científicos, do Produto Interno Bruto (PIB), da produção de energia alternativa e nuclear, das condições sanitárias e da capacidade de geração de energia renovável sobre a capacidade de geração de toda a energia do país, extraídas por intermédio da base do Banco Mundial; e, por fim, as informações sobre as emissões de gases CO₂ extraídas do Centro de Análise de Informações de Dióxido de Carbono (*Carbon Dioxide Information Analysis Center*) e da base do Banco Mundial.

A amostra é composta por quarenta países (Quadro 2) e foi utilizada de acordo com a complexidade e os propósitos metodológicos, isto é, as Análises de *Clusters* (AC) e Discriminante (AD), foram usados todos os países da amostra pela sua representatividade e finalidades das metodologias. Para tanto, a representatividade entre os grupos e a amostra balanceada (sem dados ausentes) contribuíram significativamente para a completude da base de dados e para a análise temporal das três metodologias supracitadas.

Os indicadores apresentados a seguir foram selecionados a partir do conjunto de índices de crescimento verde (*Green Growth Indicators*), elaborado pela OECD (2014). No caso dos indicadores descritos no artigo, a construção da base de variáveis manteve-se flexível às disponibilidades das informações apresentadas pelas fontes de dados. É importante salientar que nem todas as questões relacionadas às inovações ambientais podem ser medidas em termos quantitativos, porém, os indicadores propostos aqui são igualmente relevantes para todos os países da amostra.

Os indicadores A, T e I representam, respectivamente, o país da autoridade da patente onde ela foi depositada, o país do primeiro titular da patente e o país do primeiro inventor da patente, os quais representam a originalidade quanto ao uso das patentes no trabalho. Todas as três categorias de patentes foram divididas por 1 milhão de habitantes. A categoria da patente por autoridade (A) foi utilizada em todos os procedimentos metodológicos tendo como objetivo principal analisar os mercados potenciais e atrativos à posse desta patente (*royalties*), já que por serem mais caras, são mais valorizadas. Em outras palavras, essas patentes são depositadas por intermédio de um pedido de patente internacional e, dessa forma, é permitido que um único pedido seja válido para diversos países.

É possível também comercializar e exportar produtos em outros países, garantindo a exploração econômica dos produtos e processos patenteados. A categoria T refere-se às patentes cuja titularidade preza a exploração comercial das mesmas e o domínio tecnológico naquele país. De acordo com o sistema de proteção a patentes, terceiros podem explorar a patente somente com a permissão do titular (licença). Este tem o direito de impedir terceiros, sem a sua permissão, de colocar à venda, usar o produto ou processo patenteados (EPO (2013); INPI (2015)). Durante o período de vigência da patente, gratifica-se o titular pelos esforços e gastos (P&D) pela sua criação (EPO (2013); INPI (2015)). Geralmente, as patentes possuem como titulares as sedes de empresas e órgãos privados que investem intensamente em P&D e em todos os processos relativos à produção e à comercialização do processo ou produto para, posteriormente, transformar e proteger todo o esforço empreendido naquela inovação.

Por último, a patente que representa o inventor (I), o autor da inovação, refere-se à criação da novidade, que pode ser suscetível ou não à aplicabilidade industrial. Enquanto o titular é o proprietário da patente, da invenção, o inventor pode ser associado ao mentor da ideia inicial daquela invenção, já que participou de todo o processo de desenvolvimento da mesma. Logo, o país do inventor (autor) configura o esforço à produção daquela inovação, identificando o território de novas ideias e o processo de invenção. Esse país pode fornecer a origem geográfica mais precisa da atividade inovativa ambiental. Em geral, as variáveis supracitadas e explicitadas na literatura empírica das patentes ambientais representam uma *proxy*

da capacidade de inovação ambiental ou da atividade tecnológica dos países da amostra nos períodos dessa pesquisa.

Por seu turno, o indicador P representa o PIB *per capita* dos países. A variável medida em dólares constantes (ano 2005) teve como fonte de dados o Banco Mundial (*World Bank*) e por objetivo, avaliar a associação entre o grau de desenvolvimento econômico e a capacidade inovativa ambiental dos países da amostra. De acordo com Furman *et al* (2002), o nível de desenvolvimento tecnológico de um país está diretamente associado aos seus resultados inovativos, isto é, o nível de patenteamento ambiental é consequência de países que investem em inovação a médio e longo prazo e em melhorias nas suas políticas tecnológicas e ambientais, sendo considerados, dessa forma, países com consideráveis níveis de desenvolvimento econômico.

Já o indicador S denota a porcentagem da população dos países que usam instalações sanitárias, isto é, instalações relacionadas ao bem-estar e qualidade de vida da população, como, por exemplo, o sistema canalizado de esgoto e saneamento básico, extraído da base do Banco Mundial. Tal indicador representa uma variável de infraestrutura comum a todas as nações com um mínimo nível de desenvolvimento. O principal objetivo de sua inserção é estabelecer e compreender a relação entre a capacidade inovativa ambiental e os níveis mínimos de infraestrutura entre os países da amostra. A infraestrutura universal à inovação consiste não somente do estoque de conhecimento de um país, um nível global de recursos humanos e de capital direcionados a atividades inovativas, mas também, políticas amplas, baseadas na qualidade de vida e no compromisso de questões essenciais quanto aos impactos na saúde.

Por sua vez, o indicador E refere-se ao percentual de toda energia alternativa e nuclear produzida em todos os países da amostra, com base nas informações do Banco Mundial. A energia utilizada para a construção deste indicador seria aquela que não produz dióxido de carbono quando produzida, como por exemplo, as hidroelétricas, a nuclear, geotérmica, a energia solar, entre outras. Dessa forma, a finalidade deste indicador é prover informações e características que sejam pertinentes tanto às soluções ambientais quanto tecnológicas e que favoreçam a difusão de novas fontes de energia (MOWERY *et al.*, 2010).

Por outro lado, o indicador G representa a razão das emissões totais de dióxido de carbono (CO₂) de um país pela sua população. O indicador foi medido em toneladas métricas de carbono e a fonte dos dados, a reunião da base disponibilizada pela Análise de Informações de Dióxido de Carbono (*Carbon Dioxide Information Analysis Center*) e da base do Banco Mundial. O motivo da escolha das emissões de gases CO₂ refere-se aos níveis correntes de atividade econômica, isto é, elas mensuram também os danos da atividade econômica a saúde humana e/ou meio ambiente. Além disso, a escolha deste gás de efeito estufa deve-se ao fato dele estar mais relacionado ao problema da mudança climática.

Outro ponto importante quanto ao uso deste indicador refere-se à questão das regulações ambientais. Devido à complexidade em considerar indicadores individuais para cada país sobre o fator intrínseco das regulações ambientais, o indicador também pode ser considerado como uma *proxy* indireta de padrões ambientais (CRESPI, 2013). A justificativa para o uso desta *proxy* baseia-se no fato de quando um país aplica e é afetado por uma rigorosa e eficaz regulamentação ambiental, o nível de emissões de gases CO₂ pode ser diminuído (CRESPI, 2013). Logo, a partir dos resultados das metodologias propostas será possível caracterizar e especificar os países de acordo com sua capacidade inovativa ambiental e seu rigor com relação às emissões de gases CO₂.

O indicador R corresponde à participação (em percentual) do consumo de energias renováveis dividida pelo consumo final de energia dos países da amostra. O indicador extraído da base de dados do Banco Mundial tem por finalidade compreender a magnitude da mudança tecnológica ambiental de acordo com o desempenho do consumo de energia renovável dos países. O intuito é compreender a relação entre o processo tecnológico global de acordo com as iniciativas e o consumo das energias renováveis no período de tempo sob análise. Compreendem-se como energias renováveis aquelas que tenham a capacidade de renovação a curto e médio prazo (5 a 7 anos). A diferença entre os indicadores E e R seria em relação à adoção de estratégias mais consolidadas ao longo do tempo, isto é, enquanto o contexto a ser avaliado no indicador E compreende o papel do fomento às energias alternativas, no indicador R subentende-se que as políticas tecnológicas e ambientais já estejam mais consolidadas, convergindo também para a maior produção de tecnologias ambientais.

Por fim, o indicador C pode ser definido como o número de artigos científicos e técnicos de periódicos relacionados às seguintes áreas: física, biologia, química, matemática, medicina clínica, investigação biomédica, engenharia, tecnologia, ciências da terra e ciências espaciais, dividido por um milhão de habitantes. Nesse caso, a finalidade do uso desse indicador é avaliar a influência da atividade científica exclusivamente pelas suas capacidades de desenvolvimento tecnológico ambiental. Sabe-se que o processo de geração de novas tecnologias engloba um caráter cada vez mais sistêmico, no qual o estreitamento da relação entre os agentes econômicos, instituições de pesquisa e universidades são essenciais à formação, desenvolvimento e consolidação de SNIs. A seguir, o Quadro 1 fornece um resumo relativo às variáveis consideradas para a análise das inovações nos SNIs dos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Em termos metodológicos, os determinantes dos Sistemas Nacionais de Inovação e sua dinâmica sistêmica com as inovações ambientais geralmente são analisados a partir de métodos econométricos ou econométrico-espaciais. Equações são estimadas por ambos os métodos e a partir delas, é possível computar um valor médio para cada observação (escore). Assim, as influências desses determinantes representam médias das relações ou influências das variáveis para todas as observações. Por essa razão, as influências estimadas dos determinantes são indiferentes entre as observações de uma amostra aleatória. Ou seja, diferenças nos escores ocorrem somente devido aos valores das variáveis de cada observação.

Para obter a partição final dos grupos formados entre os países, atendendo à maximização da homogeneidade intragrupo e a heterogeneidade intergrupos, pode-se aplicar a técnica de *Análise de Cluster*. No entanto, uma vez que as variáveis características se alteram entre os três recortes temporais e, conseqüentemente, os centroides (vetor de médias aleatórias) e valores de similaridade ou dissimilaridade seriam diferentes, não é possível aplicar a análise de *Cluster* para comparar os grupos desenvolvidos entre os três períodos da estrutura de dados deste artigo. Ademais, provavelmente a partição final também seria distinta entre os três anos, ou seja, um ano poderia exibir um número menor de grupos em relação ao outro ano. Em razão disso, a insistência por uma análise comparativa com a técnica de *Cluster* poderia resultar em falhas se o propósito fosse capturar a transição dos países entre grupos.

Para obter a transição dos países entre os grupos ao longo dos três anos, pode-se articular a técnica de *Cluster* com a análise discriminante, que se preocupa com a separação de grupos distintos de observações e com a classificação de novas observações em grupos previamente definidos. Geralmente esta análise é usada para descrever as diferenças entre grupos e explorá-las ao classificar novas observações como membros em um dos grupos existentes. É esse o ponto que este artigo explora. Ou melhor, a estratégia metodológica deste artigo consiste primeiramente em formar os grupos para o ano de 1990, a partir da análise de *Cluster*. Em seguida, a análise discriminante é aplicada para averiguar se um determinado país transitou ou não para outro grupo nos anos de 2000 e 2010.

Como os grupos foram previamente formados em 1990, com a análise discriminante é possível identificar as chances em termos probabilísticos de um país formar outro grupo em razão das mudanças ocorridas nas mesmas variáveis características entre os anos. Assim, ao fixar o número e a composição do grupo no ano de 1990, a análise comparativa entre os anos torna-se possível. Portanto, a transição dos países entre os grupos pode ser explicada pelas mudanças nas configurações específicas de cada país, ao longo dos períodos. São procedimentos exploratórios úteis para o entendimento da natureza de relação multivariada dos Sistemas Nacionais de Inovação e sua dinâmica sistêmica com as inovações ambientais. Além disso, a articulação das técnicas permite avaliar, em certo grau, quais as condições propícias às inovações ambientais e quais características serão reveladas entre os grupos de países com diferentes estágios de Sistemas Nacionais de Inovação.

Dessa maneira, a próxima seção descreverá as duas técnicas estatísticas para a abordagem exploratória dos dados.

QUADRO 1 – Resumo das variáveis utilizadas para a aplicação metodológica

Indicadores	Sigla da Variável	Descrição da Variável	Fonte dos dados
Tecnológicos e Ambientais	A	Patentes depositadas nas autoridades dos países da amostra	PATSTAT/EPO (2013)
	T	Patentes depositadas de acordo com o país do primeiro titular da patente	PATSTAT/EPO (2013)
	I	Patentes depositadas de acordo com o país do primeiro inventor (autor) da patente	PATSTAT/EPO (2013)
Desenvolvimento Econômico	P	Grau de desenvolvimento econômico dos países	Banco Mundial (2015)
Infraestrutura	S	Condições de infraestrutura sanitária dos países	Banco Mundial (2015)
Capacidade Ambiental	E	Capacidade de energia alternativa	Banco Mundial (2015)
	G	Nível de emissão de gases poluentes, mais especificamente o dióxido de carbono (CO ₂)	Banco Mundial (2015) e Centro de Análises de Informações sobre Dióxido de Carbono (2015)
	R	Nível de consumo de energia renovável	Banco Mundial (2015)
Capacidade Científica	C	Capacidade científica dos países	Banco Mundial (2015)

Fonte: Elaboração própria.

3.1- Análise de *Clusters*

A análise de *Cluster* é por natureza uma análise exploratória que busca determinar e identificar grupos similares dentro de uma amostra maior, no caso, o grupo de países. Sendo assim, é possível sintetizar o número de informações e sugerir hipóteses sobre a relação das variáveis. Dessa forma, pretende-se, com a análise de *Cluster*, identificar e encontrar grupos de países com indicadores de inovações ambientais que apresentem características similares, ou ainda, que apresentem conexões entre suas capacidades e potenciais de desenvolvimento tecnológico ambiental. A partir desta identificação, é possível estabelecer determinadas relações entre os diversos graus de maturidade entre os Sistemas Nacionais de Inovação.

O objetivo de uma análise de *Cluster* é classificar a amostra (de países) dentro de um pequeno número de grupos mutuamente exclusivos, com base nas similaridades entre as observações desta pesquisa. A técnica é usada para identificar os grupos que possuem características similares ou associações entre os países, justamente para determinar quantos grupos realmente existem na amostra.

Segundo Mingoti (2007), para cada elemento amostral j , tem-se o vetor aleatório de medidas $\mathbf{X}'_j = [X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jp}]$, composto por p variáveis para cada elemento j das n observações da amostra. Para que se possa proceder ao agrupamento de elementos, é necessário que se decida *a priori* a medida de

similaridade ou dissimilaridade⁵ que será utilizada. Existem várias medidas diferentes e cada uma delas produz um determinado tipo de agrupamento. O critério de agrupamento dos países configura-se com base na sua proximidade, indicada geralmente por distâncias euclidianas.

A partir do uso de muitos tipos de medidas de similaridade e dissimilaridade, em geral usa-se o padrão, que é a distância quadrada euclidiana (ou distância euclidiana), em vez de obter resultados com interpretações difíceis. Entretanto, a análise de Cluster torna-se um instrumento útil, por traçar o perfil dos grupos de países determinando também sua composição, de acordo com as características econômica, tecnológica e de infraestrutura⁶. Esta análise é subdividida em uma abordagem hierárquica e outra não hierárquica, que serão descritas a seguir. Ambas as técnicas foram utilizadas no artigo para a seleção do melhor agrupamento de países desenvolvidos e em desenvolvimento.

3.2- Análise Discriminante

A técnica da Análise Discriminante preocupa-se com a separação de diferentes grupos de objetos (observações) e com a classificação de novos objetos em grupos previamente definidos. Usualmente, a referida técnica tem por objetivo: (a) descrever as diferenças entre grupos e explorar essas diferenças quando se classificam novas observações; (b) comparar as diferenças entre os grupos e certificar a classificação mais provável de novas observações em um dos grupos. Neste ponto, a análise discriminante torna-se pertinente após a seleção do número de agrupamentos de países (número de grupos de observações) por intermédio da análise de *clusters* e possibilitará a melhor discriminação e classificação dos grupos a partir das suas características (variáveis).

Do mesmo modo, o emprego da análise discriminante, após a análise de Cluster, busca identificar e obter o melhor conhecimento do perfil geral de cada grupo pelo desempenho das suas variáveis características. Logo, diferenciando-se ambas as técnicas empregadas, ressalta-se que a análise de *Cluster* auxilia na descoberta dos grupos iniciais e no uso das variáveis bases para a obtenção da divisão da amostra. Em seguida, a análise discriminante identifica o poder de discriminação, considerando outras variáveis que não participaram do processo de divisão dos dados em grupos (MINGOTI, 2007).

Assim, a análise discriminante é uma técnica estatística apropriada para testar a hipótese de que as médias dos grupos do conjunto de variáveis independentes para dois ou mais grupos são iguais. Para isso, a análise discriminante multiplica cada variável independente pelo seu peso correspondente e acrescenta todos os produtos conjuntamente. O resultado é um único composto que forma o escore discriminante para cada observação na análise. Por meio da média dos escores discriminantes para todas as observações dentro de um grupo específico, encontra-se a média do grupo, que pode ser chamada de centroide. Quando a análise envolve dois grupos, existem dois centroides, em três grupos, configuram-se três centroides, e assim sucessivamente. Os centroides indicam a localização mais comum de qualquer indivíduo para um grupo particular, e uma comparação dos centroides dos grupos mostra quão distantes os grupos seriam ao longo de suas dimensões.

Ressalta-se que o método de análise discriminante trata-se de uma técnica probabilística de classificação. Logo, o principal objetivo de seu uso no artigo seria em relação à verificação de que o grupo de países formados pela análise de *Cluster* foi satisfatório por apresentar uma taxa de erro de classificação baixa. Em outras palavras, mediante o uso da análise discriminante busca-se verificar se uma observação foi classificada adequadamente no grupo formado pela análise de *Cluster*, de acordo com as suas variáveis características. A etapa seguinte avaliará a qualidade da função discriminante (conjunto de variáveis) definida pela análise de *Cluster*. Portanto, é necessário calcular o escore numérico da função discriminante construída para cada elemento amostrado da população, cuja análise destes escores permita uma avaliação da qualidade da função de acordo com os erros de classificação e a capacidade de discriminação (MINGOTI, 2007). Caso a função seja adequada, pressupõe-se que os escores de uma população sejam consistentemente diferenciados dos escores de uma outra.

⁵ Outras medidas de similaridades podem ser adotadas na análise de *cluster*, por exemplo: distância generalizada ou ponderada, distância de Minkowsky, métrica de Canberra e coeficiente de Czekanowski. Para maiores detalhes, consulte Johnson e Wichern (2007).

⁶ Após todo o processo de determinação do número de grupos formados na análise de Cluster, será executada a análise discriminante para classificar e identificar os grupos pela técnica de análise de Cluster (HAIR *et al.*, 1995)

Todavia, uma das grandes desvantagens deste método é a diminuição do tamanho da amostra original para a construção da regra de classificação estimada. Neste caso, com a diminuição da amostra, a confiabilidade da regra de classificação será bem diminuída se as amostras não forem grandes (MINGOTI, 2007).

Portanto, por intermédio do uso da técnica da análise discriminante, pretende-se verificar a separação dos grupos distintos de observações, de acordo com a classificação de novos em grupos previamente estabelecidos na análise de *clusters*. Afinal, a análise discriminante seria a mais indicada quando se pretende comparar as diferenças observadas entre os grupos, assim como classificar as novas observações como pertencentes ao grupo mais semelhante.

Dessa forma, os procedimentos da análise discriminante supracitados permitirão observar a classificação dos 40 países considerados na amostra de acordo com as variáveis específicas determinadas pelo seu grau de desenvolvimento econômico, estruturas científicas e tecnológicas, potencial tecnológico ambiental e impacto no meio ambiente. Será possível, também, comparar e averiguar a evolução e o desempenho do grupo de países ao longo do tempo para os três períodos da estrutura de dados desta pesquisa. A importância da análise discriminante é certificada neste caso, pois a reclassificação dos grupos permitirá observar se o padrão de grupos adotado em 1990 manteve-se e como se transformou após duas décadas, a partir das características específicas para cada ano. A adoção do método da análise discriminante permitirá mitigar qualquer viés de classificação errônea, possibilitando assim classificar adequadamente os grupos de países para as atividades tecnológicas ambientais no período em questão.

4 - Resultados

As análises de *Cluster* e discriminante contribuirão para o entendimento de questões importantes ao contexto das inovações ambientais realizadas em muitos países com características heterogêneas. Uma delas será a descoberta de agrupamentos naturais e similaridades entre os países a partir do seu conjunto de variáveis características, agrupadas em níveis de desenvolvimento, de impacto ambiental, de atividade científica e de produção de tecnologias ambientais. É notável que grandes potências mundiais como Estados Unidos, Japão e Alemanha tenham destaque na maior difusão das inovações ambientais (LANJOUW; MODY, 1996). Assim como países em desenvolvimento também se destaquem no âmbito internacional por suas relevantes tecnologias ambientais, como é o caso da Coreia do Sul, China e Brasil (LANJOUW; MODY, 1996). Entretanto, a partir das informações apenas das tecnologias alternativas ambientais, torna-se difícil averiguar e inferir qualquer tipo de conhecimento a respeito da estrutura científica e tecnológica das nações desenvolvidas e em desenvolvimento.

Em outras palavras, o procedimento exploratório da análise de *Cluster* permitirá a partir de diversas características relacionadas ao meio ambiente, ao desenvolvimento, à ciência e à tecnologia, observar como os grupos de países comportam-se e assemelham-se mediante suas heterogeneidades em relação ao conjunto de variáveis. Dessa forma, a seleção dos países na configuração dos grupos formados será realizada a partir do agrupamento da amostra em 1990. Logo, os resultados da análise de *Cluster* também permitirão relacionar características factíveis mediante o desempenho tecnológico ambiental dos países, isto é, em que medida o dinamismo da atividade inovativa ambiental é atrelada às demais características em análise.

A realização da análise de agrupamento (*cluster*) foi executada somente para o ano de 1990, cujo objetivo é identificar quais países sinalizaram algum tipo de transferência (migração) de um grupo para outro, a partir do ano base. Os valores do critério de dissimilaridade usados para o agrupamento dos países podem alterar-se entre os três períodos, o que inviabiliza uma análise comparativa e transitiva dos grupos intertemporais, formados pelas economias mundiais. Assim, a estratégia metodológica foi aplicar a técnica de Análise Discriminante das variáveis características de 2000 e 2010 a partir dos grupos previamente formados em 1990. A partir da formação dos *clusters*, além de manter a mesma partição final dos grupos, conservando-os constantes, tanto em termos de número quanto e pelas suas características, ao conciliar a análise de *Cluster* e discriminante, é possível apontar a transição dos países entre os grupos ao longo dos três anos, cuja classificação é probabilística. Dessa maneira, espera-se que as transições dos países entre os grupos possam ser justificadas pelas mudanças nas configurações específicas da capacidade inovadora

ambiental em cada país nas três décadas. Outra grande vantagem é a reflexão sobre as mudanças estruturais ocorridas nos países no período sob análise (1990, 2000 e 2010).

A técnica multivariada, como é o caso da análise de *Cluster* e da análise discriminante, parte do pressuposto de que os dados foram gerados de uma distribuição normal. Ainda que eles não sigam uma distribuição normal, a sua densidade normal constitui, muitas vezes, uma aproximação útil e adequada da real distribuição populacional. Logo, antes dos procedimentos da análise de *Cluster* para o ano de 1990, foram realizados dois testes. O primeiro foi o teste de Wald, proposto por *Jennrich* (1970), no qual é verificada a homogeneidade do conjunto de matrizes de correlação. Em seguida, o teste de *Lawley* que verifica a simetria da matriz de correlação, isto é, se todas as correlações são iguais. Esses testes foram realizados para todos os anos (1990, 2000 e 2010), e tanto o teste de *Jennrich* como o teste de *Lawley* rejeitaram a hipótese nula (a 1% de significância) de que há simetria e homogeneidade nas matrizes de correlação e, desta forma, as correlações entre as variáveis não são iguais (TABELA 1).

Da mesma forma, antes de simplesmente iniciarem-se os procedimentos das técnicas multivariadas, é necessário que se faça uma análise prévia dos dados, avaliando se a normalidade é válida, pelo menos aproximadamente (MINGOTI, 2007). Para tanto, foi verificado se as variáveis seguem uma distribuição normal. O teste de Mardia para o coeficiente de assimetria da normal multivariada rejeitou a hipótese de assimetria normal multivariada (*Mardia Skewness* = 1.042, p-valor <0,0000). Este mesmo teste, para o coeficiente de curtose da normal multivariada, rejeitou a hipótese de curtose (*Mardia Kurtosis* = 422.85, p-valor <0,0000), e o teste de *Henze-Zirkler* para testar a hipótese de normalidade multivariada também rejeitou esta hipótese (1.907, p-valor <0,0000).

TABELA 1 – Testes de independência e correlação das variáveis

Ano	Testes	Valores	P-valor
1990	Jennrich chi2(36)	199.93	0.0000
	Lawley chi2(35)	159.12	0.0000
2000	Jennrich chi2(36)	231.20	0.0000
	Lawley chi2(35)	183.28	0.0000
2010	Jennrich chi2(36)	212.21	0.0000
	Lawley chi2(35)	180.05	0.0000

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

Como observado, os resultados da Tabela 2 apontaram que as variáveis não seguem uma distribuição normal para nenhum dos períodos analisados. Para tanto, é preciso transformar os dados para que se aproximem de uma distribuição normal e, com isso, foram realizados os procedimentos que facilitam o tratamento matemático. Todavia, os resultados mais satisfatórios para a utilização das variáveis seguindo uma distribuição normal foram construídos de acordo com os procedimentos da técnica *fuzzy*⁷. Os testes, após a transformação dos mesmos pela técnica *fuzzy*, mostraram que houve uma melhora significativa nos resultados, aceitando a hipótese de assimetria normal multivariada e de distribuição normal.

Após os procedimentos para transformação das variáveis pela técnica *fuzzy* e dos testes para verificação da distribuição normal multivariada, foi realizada a análise de seleção dos agrupamentos dos países no ano de 1990. Após essa primeira etapa de seleção dos grupos para o ano de 1990, posteriormente será verificada a taxa de erro de classificação dos grupos por intermédio da análise discriminante. Inicialmente, para a análise de *clusters*, é necessário estimar o procedimento dos agrupamentos para identificar o número de grupos a partir das similaridades das observações.. Entre os métodos executados, o método hierárquico de *Ward* foi o que obteve o resultado mais satisfatório em comparação aos demais métodos de ligação hierárquicos utilizados, a saber: *single linkage*, *complete linkage*, *average linkage*, uma vez que o teste de análise de dendograma (para cada técnica hierárquica), o teste *Calinski* e o teste *Duda/Hart* apontaram que a formação adequada seriam de 4 (quatro) agrupamentos, conforme Anexo H e I.

⁷ A adoção dos procedimentos pela técnica *fuzzy* permite, além da vantagem de aproximação da distribuição, manter as medidas originais sem perder a variação associada com as medidas contínuas utilizadas (LONGEST e VAISEY, 2008).

Por intermédio dos resultados dos testes de *Calinski-Harabasz* (Pseudo F) e *Duda-Hart* (Pseudo T²), observa-se que de acordo com os 4 métodos de *clusters* hierárquicos sugere-se que as partições 2, 4 e 6 poderiam ser selecionadas. Não obstante, com intuito de minimizar a perda de informações dos grupos, evita-se que os grupos sejam compostos por menos de duas nações e viabilizar a análise das diferenças intrínsecas em cada grupo, optou-se pela escolha do método de Ward.

Logo, uma vez definidos os quatro grupos a partir dos métodos hierárquicos, foi executado o método não hierárquico, mais especificamente o *k*-média (*k-means*). A partir do uso das médias dos 4 grupos selecionados, foram utilizadas as médias dos quatro grupos como sementes para o método *k*-média, o que também confirmará a robustez do agrupamento. O método hierárquico é um método de interação, ao executar o método *k*-média observou-se que os elementos em cada um dos 4 grupos ficaram mais distribuídos, ou seja, o número de observações em cada grupo está mais próximo.

Ademais, a estatística pseudo F⁸ para o método não hierárquico *k*-média obteve o melhor resultado quando comparado com o método hierárquico de Ward. Em razão disso, três foram os motivos para a escolha do método *k*-média: o maior valor da estatística pseudo F, quando comparado o método hierárquico de Ward; a melhor distribuição de observações entre os grupos e, por último, a taxa de erro de classificação obteve os menores valores quando aplicada a função discriminante. Portanto, os *clusters* formados resultaram do método não hierárquico *k*-média⁹.

Após a classificação das observações (países) nos seus respectivos grupos, aplicou-se a técnica de análise discriminante para averiguar a taxa de erro aparente da partição final gerada pelo *k*-média, em todos os períodos. A técnica multivariada de análise discriminante é adequada para discriminar os diferentes grupos de países, identificando os grupos em que determinada economia deve pertencer, a partir das características intrínsecas de cada período. Desse modo, para a análise de discriminação dos grupos foi levado em consideração o teste conhecido como o método de Lachenbruch, que visa retirar o viés de sobrevalorização das probabilidades pelo método de classificação. Sendo assim, o método também é considerado como sendo de resubstituição pois retira uma observação do grupo e, em seguida gera a função discriminante. Essa função é utilizada para classificar a observação retirada, isto é, se de fato a observação foi classificada corretamente no grupo presente ou não. As classificações deste método, para o ano de 1990, podem ser observadas na Tabela 2.

A partir dos resultados das taxas de classificação incorreta, aprofundou-se na investigação para reclassificar os países em grupos com características semelhantes. Observa-se que a distribuição das probabilidades de classificação foi bem distribuídas entre os grupos e, com isso, foi necessário identificar quais países foram classificados erroneamente. Na Tabela 3 é disponibilizado o teste de reclassificação de Lachenbruch que têm por finalidade especificar os países com maior probabilidade da taxa de erro de classificação. Os testes também disponibilizam uma probabilidade (peso) para cada classificação correta das observações nos grupos.

TABELA 2 – Método de classificação de Lachenbruch (1990)

⁸ O valor da estatística do pseudo F para os quatro agrupamentos pela técnica *k*-média foi de 14,05.

⁹ Cabe mencionar que o método não hierárquico *fuzzy c*-médias também foi executado. Contudo, quando aplicada a análise discriminante, algumas probabilidades obtiveram valores bastante próximos o que dificultou a classificação final das observações. Além disso, houve grupos muito assimétricos, isto é, grupos em que grande parte das observações concentraram-se em apenas dois agrupamentos. Dessa maneira, a técnica *fuzzy c*-médias foi desconsiderada.

Grupos	1	2	3	4	Total
1	10 (83,33%)	2 (16,67%)	0 (0%)	0 (0%)	12 (100%)
2	1 (11,11%)	7 (77,78%)	0 (0%)	1 (11,11%)	9 (100%)
3	0 (0%)	0 (0%)	8 (100%)	0 (0%)	8 (100%)
4	0 (0%)	0 (0%)	1 (9,09%)	10 (90,91%)	11 (100%)
Total	11 (27,5%)	9 (22,5%)	9 (22,5%)	11 (27,5%)	40 (100%)

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

Nota: Valores entre parênteses representam as probabilidades de classificações corretas ou incorretas. Os resultados consideram probabilidades prévias iguais.

Para o ano de 1990, a interpretação do teste indicou que algumas observações como Alemanha, Estados Unidos, Grécia, Japão e Polônia apresentaram taxas de reclassificação bem heterogêneas. Sendo assim é necessária avaliar as observações que foram classificadas alterando as configurações de certos grupos, criando-se uma nova variável com os ajustes específicos para cada país em um novo grupo. Deve-se ressaltar que, em geral, os países desenvolvidos predominaram basicamente nos grupos 1 e 2, enquanto que as economias em desenvolvimento localizaram-se entre os grupos 3 e 4. Esta evidência confirma o processo de polarização entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento, assim como revela suas disparidades quanto às características de seus Sistemas Nacionais de Inovação.

TABELA 3 – Probabilidades de reclassificação (%) de certos países (1990)

Países	Grupo 1 (a)	Grupo 2 (a)	Grupo 3 (a)	Grupo 4 (a)
Alemanha	51,2	48,8	0,0	0,0
Estados Unidos	5,8	94,2	0,0	0,0
Grécia	0,0	1,3	95,2	3,5
Japão	42,7	57,3	0,0	0,0
Polônia	0,0	0,2	0,4	99,4

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

Nota: (a) Método de Lachenbruch.

Não obstante, o cenário direcionado para novas reclassificações permite averiguar quais das probabilidades e características seriam mais adequadas para a reconfiguração dos países supracitados. Nesse caso, adotou-se o critério de reclassificar os países em novos grupos caso a probabilidade pelo método de Lachenbruch for superior a 80% (MINGOTI, 2007). Partindo-se desse pressuposto, a Alemanha (51,2%) não foi reclassificada em um novo grupo, assim como o Japão que obteve 57,30% de probabilidade de transição para um novo agrupamento, o que representa um valor inferior aos 80% estabelecido para uma nova reclassificação. Por outro lado, os Estados Unidos, a Grécia e a Polônia foram reclassificados para os novos grupos, 2, 3 e 4, respectivamente. Acredita-se que grande parte do erro de classificação observado nos grupos, com base no quesito de desenvolvimento tecnológico ambiental para o ano de 1990, possa estar atrelado à uniformidade dos países. Após a nova reclassificação dos países (Estados Unidos, Grécia e Polônia), estimaram-se novamente as probabilidades de reclassificação de Lachenbruch. Quando as observações foram transferidas para os seus novos grupos indicados pelos métodos, foram geradas novas funções discriminantes. Os resultados para a segunda reclassificação mostram que a Bélgica, a França e a Grécia deveriam migrar para novos grupos, 4, 2 e 4, respectivamente. No entanto, as probabilidades desta nova reclassificação obtiveram valores inferiores a 80%, o que mantiveram os respectivos países em seus grupos atuais.

Na Tabela 4 são apresentadas as estatísticas formadas para os grupos de países segundo suas características, após a reconfiguração final de acordo com o ano de 1990. Em linhas gerais, os Grupos 1 e 2 formados por 10 países cada um, apresentam um dos mais altos índices médios de desenvolvimento tecnológico ambiental (A, T e I), econômico (P), científico (C) e de tecnologias renováveis (R). No entanto, comparando-se aos demais grupos, os grupos 1 e 2 revelam um dos mais altos níveis de emissão de gases

(G), mais especificamente as nações que compõem o Grupo 2 que são representadas pelos Estados Unidos, Japão, Alemanha, Itália e Reino Unido. A partir das similaridades e características observadas para as unidades da amostra, a análise discriminante para o ano de 1990 propôs de uma forma genérica, evidenciar as diversas potencialidades para a produção tecnológica ambiental para os diferentes SNI's. Com as características dos grupos formados em 1990, será possível verificar nos próximos anos como as novas reclassificações podem estar relacionadas às novas realidades e pertinentes aos avanços tecnológicos adquiridos pelos países, assim como seus comportamentos frente aos diversos aspectos e exigências tecnológicas ambientais.

TABELA 4 – Estatísticas descritivas das variáveis por agrupamentos (1990)

Grupos	Obs	Indicadores	A	T	I	P	E	G	S	R	C
1	10	Média	0,65	0,69	0,68	0,68	0,87	0,58	0,78	0,71	0,62
		Desvio padrão	0,22	0,16	0,16	0,19	0,11	0,22	0,19	0,27	0,19
		Mínimo	0,21	0,46	0,44	0,33	0,64	0,36	0,49	0,18	0,30
		Máximo	0,90	0,92	0,92	0,92	1,00	0,95	1,00	1,00	0,90
2	10	Média	0,76	0,79	0,80	0,66	0,38	0,64	0,74	0,36	0,82
		Desvio padrão	0,22	0,19	0,18	0,16	0,26	0,31	0,29	0,21	0,15
		Mínimo	0,44	0,44	0,49	0,41	0,00	0,08	0,03	0,00	0,56
		Máximo	1,00	1,00	1,00	0,95	0,74	0,97	1,00	0,67	1,00
3	9	Média	0,35	0,20	0,22	0,20	0,44	0,31	0,26	0,75	0,27
		Desvio padrão	0,18	0,17	0,18	0,13	0,20	0,20	0,13	0,14	0,10
		Mínimo	0,05	0,05	0,00	0,03	0,14	0,05	0,08	0,51	0,12
		Máximo	0,69	0,51	0,51	0,38	0,74	0,64	0,43	0,97	0,40
4	11	Média	0,24	0,31	0,29	0,43	0,20	0,46	0,32	0,23	0,27
		Desvio padrão	0,23	0,18	0,18	0,37	0,23	0,36	0,22	0,17	0,27
		Mínimo	0,00	0,05	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
		Máximo	0,67	0,62	0,62	1,00	0,56	1,00	0,66	0,59	0,77

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

A análise discriminante para o ano 2000 foi executada de acordo com as informações deste ano preservando, portanto, suas características. A partir disso é possível identificar se um país migrou de um grupo para outro observando sua transição. A finalidade deste procedimento reside na expectativa de apontar a transição de uma observação de um grupo para outro, o que pode apontar uma mudança estrutural ocorrida dentro daquele país. É importante ressaltar que uma vez que o ano 1990 tenha características diferentes em relação aos demais anos, em todos os períodos haverá mudanças em suas funções discriminantes. Logo, a análise discriminante permite também direcionar se um país continuará em determinado grupo ou se migra para outro agrupamento. No ano 2000, os resultados da Tabela 5 mostram que no método de Lachenbruch, em cada grupo, há pelo menos uma observação classificada incorretamente para o ano 2000. Assim, a partir da indicação dessas observações nos grupos, investigou-se quais países seriam passíveis de reclassificação.

TABELA 5–Método de classificação de Lachenbruch (2000)

Grupos	1	2	3	4	Total
1	8 (80.00%)	1 (10.00%)	0 (0.00%)	1 (10.00%)	10 (100.00%)
2	1 (10.00%)	9 (90.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	10 (100.00%)
3	0 (0.00%)	0 (0.00%)	8 (88.89%)	1 (11.11%)	9 (100.00%)
4	0 (0.00%)	0 (0.00%)	2 (18.18%)	9 (81.82%)	11 (100.00%)
Total	9 (22.50%)	10 (25.00%)	10 (25.00%)	11 (27.50%)	40 (100.00%)

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

Nota: Valores entre parênteses representam as probabilidades de classificações corretas ou incorretas. Os resultados consideram probabilidades prévias iguais.

Desta forma, na Tabela 6 é apresentada uma nova reclassificação indicada pelo método de Lachenbruch. Como previamente discutido, a cada ano, a análise discriminante elaborada é utilizada para descrever as diferenças entre grupos e explorar tais diferenças ao classificar novas observações como

membros em um dos grupos existentes. No respectivo ano, as novas reclassificações indicaram uma lista maior de países identificados em outros grupos. Entre eles estão: Bélgica, Coreia do Sul, Cuba, Grécia, Itália e Rússia. A partir da visualização das novas reclassificações, analisaram-se quais países que deveriam migrar de um grupo para outro e, a partir dessa verificação concluiu-se que os seguintes países: Coreia do Sul, Cuba, Itália e Rússia, possuem probabilidades com mais de 90% chances de pertencer à novos grupos. Os países desenvolvidos como a Itália e a Coreia do Sul classificadas originalmente no grupo 2 e 1, respectivamente, foram reclassificadas para os grupos 1 e 2, mantendo a participação de dez países em cada grupo.

TABELA 6 – Probabilidades de reclassificação (%) de certos países (2000)

Países	Grupo 1 (a)	Grupo 2 (a)	Grupo 3 (a)	Grupo 4 (a)
Bélgica	3,0	26,2	0,0	70,8
Coreia do Sul	0,5	99,5	0,0	0,0
Cuba	0,0	0,0	96,6	3,4
Grécia	0,0	0,0	21,7	78,3
Itália	96,7	3,3	0,0	0,0
Rússia	0,0	0,0	98,2	1,8

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

Nota: (a) Método de Lachenbruch.

Após as reclassificações (Tabela 6) dos países (Cuba e Rússia) no grupo 3 (Quadro 2), percebe-se que a transição dessas economias em desenvolvimento ocorreu para agrupamentos que apresentam características tecnológicas semelhantes, como é o caso dos países latino americanos localizados nesse grupo (Brasil, Argentina e Cuba). As características tecnológicas citadas acima referem-se à traços comuns existentes entre esses países que possuem Sistemas Nacionais de Inovação imaturos. Nesse sentido, é razoável supor que as inovações ambientais tenham uma forte relação entre o grau de desenvolvimento econômico e o perfil ambiental dos países. Em comparação com os países desenvolvidos, pode-se afirmar que quanto maior a produção de tecnologias ambientais, maior será o grau de sinergias entre as diversas esferas (econômica, financeira, produtiva e tecnológica).

A Tabela 7 fornece todas as estatísticas descritivas por classificação dos agrupamentos finais para o ano 2000. De acordo com as informações, observa-se que alguns fatores são relevantes entre as variáveis dos países que abrangem os Grupos 1 e 2. Entre esses fatores, os países representados nesses grupos, em comparação com o ano de 1990, permaneceram com a mesma magnitude entre as variáveis, isto é, países com alto grau de desenvolvimento econômico, científico e com elevada capacidade tecnológica ambiental. Entretanto, quando se compara os valores médios dos países que englobam esses grupos, em relação ao impacto ambiental (G), a utilização de energia renovável (E) e a produção de energias alternativas (R), os países do Grupo 1 mantiveram-se a frente e com uma considerável discrepância entre os resultados. Os dez países que abrangem o Grupo 1 são: Áustria, Bélgica, Canadá, Espanha, Finlândia, França, Itália, Noruega, Suécia e Suíça.

Especificamente no grupo 2, países como: Estados Unidos, Japão, Reino Unido, Alemanha, Holanda, Coreia do Sul, China, tiveram um importante desempenho em sua produção tecnológica ambiental (A, T e I) e infraestrutura científica (C). Entretanto, de acordo com os resultados dos agrupamentos dos *clusters*, percebeu-se que neste grupo o valor médio das emissões (G) cresceu em comparação ao ano de 1990, cerca de 6%. Novamente, este resultado, pode estar atrelado ao fato de que as regulações possam ter incentivado e fomentado a produção de tecnologias ambientais. De acordo com as características do ano 2000, pode-se concluir que os países desse grupo ainda não internalizaram a redução das emissões de gases poluentes por intermédio de medidas e processos mitigadores de impactos ambientais em seu processo produtivo, como por exemplo: na redução da energia consumida por unidade produzida e redução de utilização de material por unidade produzida.

TABELA 7 – Estatísticas descritivas das variáveis por agrupamento (2000)

Grupos	Obs	Indicadores	A	T	I	P	E	G	S	R	C
1	10	Média	0,58	0,70	0,68	0,62	0,81	0,50	0,74	0,80	0,66
		Desvio padrão	0,24	0,12	0,12	0,18	0,19	0,22	0,18	0,18	0,20
		Mínimo	0,18	0,51	0,51	0,38	0,40	0,28	0,49	0,49	0,38
		Máximo	0,87	0,87	0,85	0,87	1,00	0,95	1,00	1,00	0,90
2	10	Média	0,81	0,83	0,84	0,65	0,44	0,67	0,76	0,35	0,78
		Desvio padrão	0,18	0,15	0,14	0,21	0,24	0,24	0,30	0,21	0,18
		Mínimo	0,46	0,54	0,58	0,33	0,11	0,10	0,05	0,00	0,49
		Máximo	1,00	1,00	1,00	1,00	0,79	1,00	1,00	0,67	1,00
3	11	Média	0,38	0,20	0,20	0,16	0,41	0,29	0,25	0,59	0,29
		Desvio padrão	0,22	0,15	0,14	0,12	0,24	0,22	0,14	0,29	0,22
		Mínimo	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,03	0,05	0,05
		Máximo	0,74	0,49	0,46	0,36	0,89	0,79	0,46	0,97	0,79
4	9	Média	0,23	0,33	0,35	0,66	0,29	0,59	0,42	0,25	0,30
		Desvio padrão	0,22	0,17	0,17	0,30	0,34	0,38	0,27	0,17	0,24
		Mínimo	0,00	0,04	0,08	0,21	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
		Máximo	0,64	0,56	0,62	0,97	0,85	0,97	0,81	0,62	0,69

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

Do mesmo modo, os países que compõem o Grupo 3 e 4, composto principalmente por países em desenvolvimento, possuem um menor e mais contido potencial de inovações ambientais. O Grupo 3 que apresentou um dos menores valores de desenvolvimento econômico, foi um dos grupos que mais se destacou quanto às menores proporções médias de emissões de gases em 2000. Ao contrário, o Grupo 4 englobou países como: Luxemburgo, Irlanda, República Tcheca, África do Sul, e não se destacaram em relação ao seu desempenho científico e ambiental, como podem ser observados na Tabela 7. Este grupo apresentou um aumento do valor médio de gases poluentes igual a 21,96% no ano 2000, destacando-se dos demais grupos. Representando principalmente os países em desenvolvimento, o grupo 4 reflete exatamente as assimetrias e as diferenças tecnológicas ambientais e de infraestrutura científica existentes entre os grupos 1 e 2. Em outras palavras, as tecnologias ambientais são atualmente mais desenvolvidas em países que exibem um elevado desenvolvimento econômico, e não são difundidas no mundo econômico na velocidade e escala necessária (HAŠČIČ *et al.*, 2010). Porém, ressalta-se que o esforço e a produção de tecnologias ambientais dos países em desenvolvimento, mesmo que em menor intensidade, são mais específicas para as necessidades dessas economias, e não são produzidas em uma escala maior devido aos entraves estruturais científicos e econômicos, além da falta de incentivos para o desenvolvimento destas tecnologias.

A partir deste cenário, será possível reclassificar os países entre os grupos segundo as características apresentadas pelas funções discriminantes no ano de 2010. Observa-se, no entanto, que a migração dos países do Grupo 4 para outros grupos, pode ter sido consequência do desenvolvimento de novos regimes tecnológicos nos últimos anos, além da indução de tecnologias limpas e dos grandes avanços em áreas estratégicas como energia, transportes e tecnologia de informação (ROHRICH; PEREIRA, 2014). Contudo, é necessário que se avalie quais países seriam mais suscetíveis de reclassificação para os outros grupos, com maior potencial de desenvolvimento tecnológico ambiental e científico.

TABELA 8–Método de classificação de Lachenbruch (2010)

Grupos	1	2	3	4	Total
1	8 (80%)	2 (20%)	0 (0%)	0 (0%)	10 (100%)
2	1 (10%)	8 (80%)	0 (0%)	1 (10%)	10 (100%)
3	0 (0%)	0 (0%)	6 (66,67%)	3 (33,33%)	9 (100%)
4	0 (0%)	3 (27,27%)	3 (27,27%)	5 (45,45%)	11 (100%)
Total	9 (22,5%)	13 (32,5%)	9 (22,5%)	9 (22,5%)	40 (100%)

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

Nota: Valores entre parênteses representam as probabilidades de classificações corretas ou incorretas. Os resultados consideram probabilidades prévias iguais.

Por fim, para o ano de 2010, os resultados da Tabela 8 indicaram que pelo método de Lachenbruch a distribuição das probabilidades dos países terem sido classificados erroneamente nos grupos foi mais distribuída e elevada, o que pode indicar uma mudança estrutural no desempenho científico e tecnológico dos países da amostra nos últimos vinte anos. De acordo com o método de Lachenbruch, um dos grupos que obtiveram a maior taxa de classificação incorreta foi o Grupo 4, com quase 60% de chances de classificação de 6 (seis) países estarem localizados nos grupos 2 e 3. Em cada linha dos seus respectivos grupos, é possível visualizar significativas mudanças dos grupos originais para outros grupos. Como abordado, o processo de reclassificação em 2010 concentrou-se mais no Grupo 4, o qual engloba países em desenvolvimento no qual cujos padrões científico e tecnológico estão abaixo dos apresentados pelos países desenvolvidos.

A partir dos resultados de reclassificação para o ano de 2010 (TABELA 9), os países mais suscetíveis foram: Coreia do Sul, Índia, Malásia, México, Romênia, Rússia e Ucrânia. Na etapa posterior, após a avaliação a respeito das probabilidades (pesos) para cada país, todas as economias observadas são propensas a mudar de grupos, pois possuem valores superiores a 90% de chances de reclassificação, com exceção da Romênia, que permaneceu em seu grupo original 3.

TABELA 9 – Probabilidades de reclassificação (%) de certos países (2010)

Paises	Grupo 1 (a)	Grupo 2 (a)	Grupo 3 (a)	Grupo 4 (a)
Coreia do Sul	0,1	99,9	0,0	0,0
Índia	0,0	94,9	4,2	0,9
Malásia	0,0	0,0	0,9	99,0
México	0,0	0,0	17,0	83,0
Romênia	0,9	0,0	27,8	71,3
Rússia	3,4	94,6	0,0	2,0
Ucrânia	0,1	0,0	99,3	0,7

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

Nota: (a) Método de Lachenbruch.

De acordo o método de Lachenbrouch, países como Índia, Rússia e Ucrânia, classificados originalmente no Grupo 4, foram reclassificados para outros grupos cujo cenário é representado por um maior equilíbrio de acordo com sua capacidade de desenvolvimento econômico e tecnológico. Após essa primeira etapa, realizou-se um novo teste e os resultados indicaram que as probabilidades para República Tcheca e França foram acima de 80%. Logo, quando os países foram transferidos para os novos grupos indicados, 3 e 2, respectivamente, realizou-se novamente um teste que apontou o México como possível migrante para o Grupo 3. Entretanto, a probabilidade para a ocorrência dessa nova transferência foi abaixo de 80% e, desta forma, optou-se em manter-se o México no Grupo 4.

Nesse ponto, é importante ressaltar que as análises realizadas especificaram diferentes e significativas funções discriminantes, nas quais as principais características intrínsecas aos países, promotoras da inovação ambiental, estavam mais alinhadas com as percepções do elevado uso e produção de energia renovável e alternativa (R e E), grande capacidade científica (C), forte desenvolvimento econômico (P), ampla capacidade de infraestrutura (S) e emissões significativas de gases poluentes (G). Tais resultados podem ser observados na Tabela 10, que apresenta as características gerais dos novos grupos

elaborados, a partir da análise discriminante para o ano de 2010. Um dos pontos importantes observados na Tabela 16 refere-se aos resultados do Grupo 2. Com valores um pouco mais elevados que os países do Grupo 1 em relação às variáveis de capacidade tecnológica ambiental (T, A e I), o Grupo 2 engloba 14 países e se destaca pela média significativa de produção científica (C). Países como a Alemanha, Holanda, Estados Unidos, França e Itália, tiveram um relevante desempenho tecnológico ambiental que pode ter sido gerado por políticas ambientais e climáticas iniciadas nos anos 2000 (DECHEZLEPRÊTRE *et al.*, 2011). O crescimento e aceleração do desenvolvimento tecnológico ambiental é provavelmente consequência de políticas ambientais anteriores como respostas aos tratados e acordos (e.g., Protocolo de Kyoto (1997)) feitos por alguns desses países supracitados, com exceção dos Estados Unidos.

Da mesma forma, verificou-se que as diferenças entre os valores médios da produção das inovações tecnológicas ambientais e a mitigação dos impactos ambientais, neste caso representado pela variável (G) sugere que os países do Grupo 2 não desaceleraram ou diminuíram a emissão de gases poluentes. Este resultado também é compatível com a lógica dos resultados anteriores de que as regulações possam ter incentivado a produção de tecnologias ambientais. Mesmo depois de 10 anos, os países do Grupo 2 continuaram a ter um valor médio de emissões (G) elevado. Todavia, observou-se pela média dessa variável entre os anos 2000 e 2010, que houve uma redução de 7,89% em relação às emissões de gases, indicando que a produção e desenvolvimento das tecnologias ambientais foram essenciais para estes resultados. Em relação ao Grupo 1, visualizou-se que o desenvolvimento das inovações tecnológicas ambientais mantiveram-se no mesmo patamar, com exceção da capacidade tecnológica ambiental dos países como (Áustria, Bélgica, Canadá, Espanha, Finlândia, Noruega, Suécia e Suíça) que tiveram um resultado bastante expressivo nesse aspecto. Em geral, esses resultados também mostraram que as inovações tecnológicas ambientais nos países que se comprometeram a reduzir as emissões foram significativas, porém com um impacto limitado no compromisso fidedigno na diminuição das emissões de gases poluentes.

Em relação ao conjunto de países do Grupo 3 (Argentina, Brasil, Bulgária, Grécia, Portugal, República Tcheca, Romênia, Turquia, Ucrânia), os resultados apontaram determinados avanços em relação ao ano de 1990, na capacidade de utilização de energias renováveis (R), no desenvolvimento científico (C) e no crescimento da economia (P). Da mesma forma, esses resultados encontram-se bem limitados às nações em desenvolvimento, que estão cada vez mais distantes de um processo de *catching up*, quando comparadas às economias desenvolvidas. Em outras palavras, grande parte dos países que englobam o Grupo 3 permaneceram neste agrupamento nas três décadas analisadas, sendo bem provável que essa inércia seja derivada da capacidade limitada de desenvolvimento dos Sistemas Nacionais de Inovação desses países.

Por fim, no Grupo 4, encontram-se países tanto desenvolvidos (Irlanda, Luxemburgo, Polônia e Singapura), quanto países em desenvolvimento (África do Sul, Cuba, Malásia, México, Moldávia). Conforme os resultados apresentados para esse Grupo (TABELA 10), o conjunto de países apresentou os piores resultados no aspecto tecnológico ambiental e científico, quando comparado aos valores das demais características de outros Grupos. A disparidade entre as economias presentes nesse grupo não as exime da baixa potencialidade e da dimensão tecnológica. As diversidades encontradas referem-se justamente aos problemas que, possivelmente ao longo prazo, podem vir à tona, se medidas mais radicais não forem executadas. Os resultados encontrados representam um exemplo típico de Sistemas Nacionais de Inovação imaturos nos quais, pequenas imprudências em curto prazo, desenvolvem grandes problemas ambientais no futuro. Destarte, a análise descritiva das variáveis para cada grupo permitiu identificar as mudanças das características entre os grupos e sinalizaram a ocorrência de uma redistribuição da capacidade tecnológica ambiental e científica.

TABELA 10 – Estatísticas descritivas das variáveis por agrupamento (2010)

Grupos	Obs	Indicadores	A	T	I	P	E	G	S	R	C
1	8	Média	0,54	0,63	0,59	0,78	0,83	0,60	0,74	0,82	0,57
		Desvio padrão	0,26	0,16	0,14	0,16	0,14	0,28	0,18	0,20	0,17
		Mínimo	0,00	0,36	0,44	0,51	0,55	0,26	0,45	0,38	0,36
		Máximo	0,87	0,85	0,85	0,97	0,97	0,92	1,00	1,00	0,85
2	14	Média	0,72	0,77	0,81	0,55	0,45	0,62	0,65	0,43	0,79
		Desvio padrão	0,24	0,18	0,14	0,28	0,24	0,27	0,36	0,23	0,17
		Mínimo	0,26	0,44	0,56	0,00	0,16	0,03	0,00	0,05	0,46
		Máximo	1,00	1,00	1,00	0,92	1,00	0,97	1,00	0,79	1,00
3	9	Média	0,34	0,22	0,21	0,28	0,59	0,31	0,37	0,62	0,30
		Desvio padrão	0,20	0,15	0,12	0,14	0,20	0,22	0,19	0,25	0,20
		Mínimo	0,09	0,03	0,03	0,05	0,28	0,05	0,14	0,23	0,08
		Máximo	0,67	0,46	0,41	0,46	0,89	0,77	0,63	0,97	0,64
4	9	Média	0,28	0,24	0,23	0,40	0,10	0,40	0,33	0,20	0,19
		Desvio padrão	0,26	0,17	0,17	0,35	0,13	0,34	0,28	0,18	0,16
		Mínimo	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00
		Máximo	0,74	0,54	0,51	1,00	0,39	1,00	0,16	0,51	0,51

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

Por essa ótica, de acordo com as transformações observadas entre os grupos de países desenvolvidos, visualizou-se que o rápido desenvolvimento das inovações ambientais é influenciado pela integração de diversos fatores sob o campo científico, econômico e tecnológico. Além disso, para o completo entendimento do processo inovativo ambiental ocorrido no período analisado, é importante também levar em consideração as trajetórias históricas dos países e os contextos intrínsecos sob diferentes esferas como: institucional, produtiva, financeira, social e cultural. Nesse cenário, é possível supor que a construção de um eficiente Sistema Nacional de Inovação possibilita e auxilia tanto o desenvolvimento econômico quanto a criação de tecnologias ambientais, principalmente nos países em desenvolvimento. O Quadro 2 fornece todas as classificações finais das economias mundiais em estudo deste artigo para cada ano, após as reclassificações realizadas com o auxílio da técnica de análise discriminante. Na Figura 1, são sintetizados todos os grupos de países formados pela análise de *Cluster* e reconfigurados pelas análises discriminantes. Assim, a transição dos países entre os *clusters* 1 a 4 parece ser explicada por certas mudanças nas configurações específicas das economias mundiais, considerando as dimensões científica, tecnológica, ambiental e de infraestrutura. Em geral, observa-se que países com Sistemas Nacionais de Inovação mais desenvolvidos ou aqueles que alcançam níveis elevados de desenvolvimento permaneceram ou migraram para os grupos 1 e 2 (e.g., Estados Unidos, Canadá e França). Já os países com grau relativamente menor de desenvolvimento de SNI (mais imaturos) foram classificados ou migraram nos grupos 3 e 4 (e.g., África do Sul, Argentina, Brasil e Cuba). Cabe salientar que, conforme os resultados das análises, especialmente a economia indiana e a russa transitaram do grupo 4 (1990) para o grupo 2 (2010), denotando os esforços em C&T.

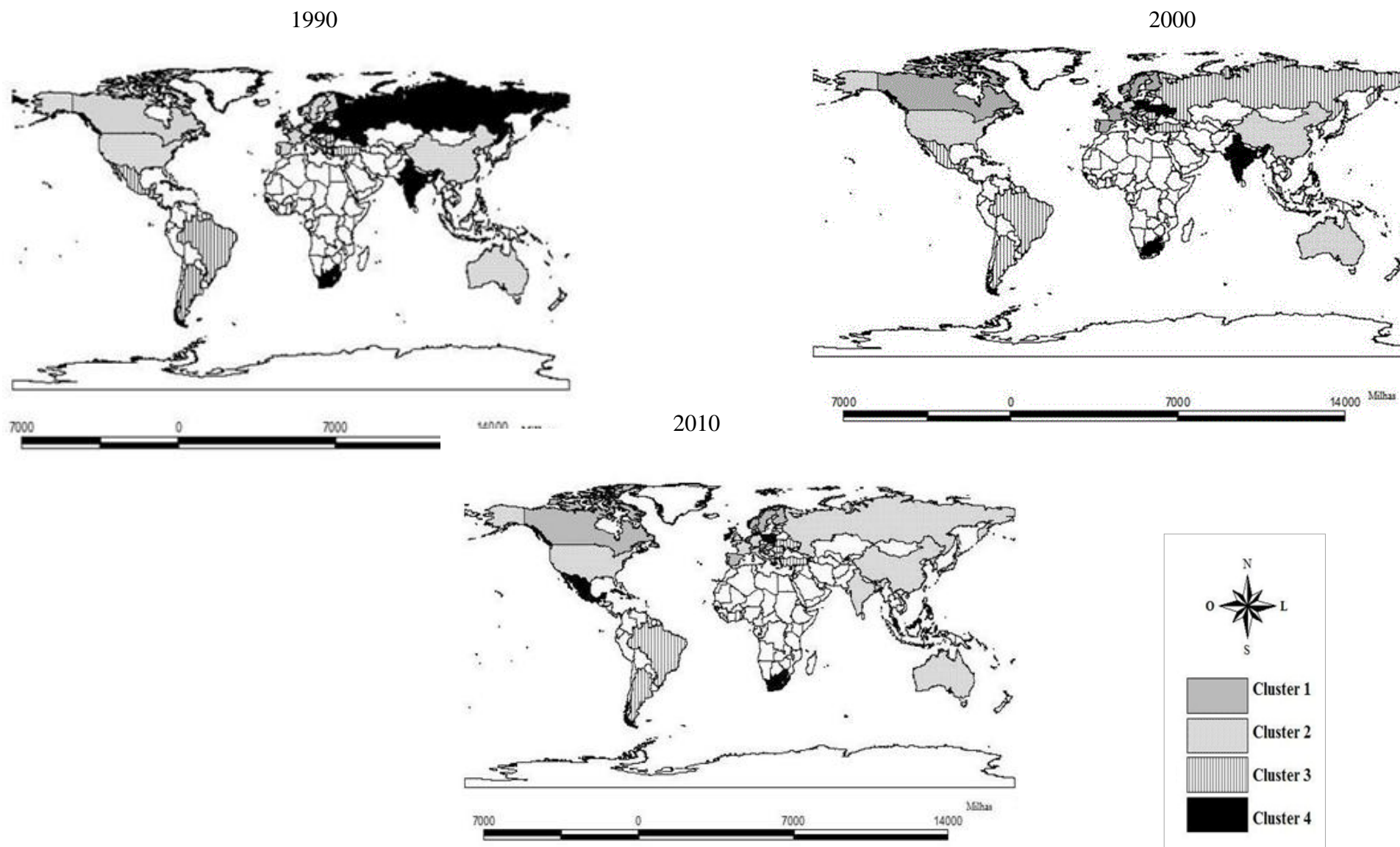
QUADRO 2 – Classificações finais em grupos para os países

Ordem	Países	Faixa de renda	Categorias das Economias	Classificação final		
				1990	2000	2010
1	África do Sul	Média Alta	Em Desenvolvimento	4	4	4
2	Alemanha	Alta	Desenvolvida	2	2	2
3	Argentina	Média Alta	Em Desenvolvimento	3	3	3
4	Austrália	Alta	Desenvolvida	2	2	2
5	Áustria	Alta	Desenvolvida	1	1	1
6	Bélgica	Alta	Desenvolvida	1	1	1
7	Brasil	Média Alta	Em Desenvolvimento	3	3	3
8	Bulgária	Média Alta	Em Desenvolvimento	3	3	3
9	Canadá	Alta	Desenvolvida	1	1	1
10	China	Baixa- Média	Em Desenvolvimento	2	2	2
11	Coreia do Sul	Alta	Desenvolvida	1	2	2
12	Cuba	Média Alta	Em Desenvolvimento	4	3	4
13	Dinamarca	Alta	Desenvolvida	2	2	2
14	Espanha	Alta	Desenvolvida	1	1	1
15	Estados Unidos	Alta	Desenvolvida	2	2	2
16	Finlândia	Alta	Desenvolvida	1	1	1
17	França	Alta	Desenvolvida	1	1	2
18	Grécia	Alta	Desenvolvida	3	3	3
19	Holanda	Alta	Desenvolvida	2	2	2
20	Índia	Média Baixa	Em Desenvolvimento	4	4	2
21	Irlanda	Alta	Desenvolvida	4	4	4
22	Israel	Alta	Desenvolvida	2	2	2
23	Itália	Alta	Desenvolvida	2	1	2
24	Japão	Alta	Desenvolvida	2	2	2
25	Luxemburgo	Alta	Desenvolvida	4	4	4
26	Malásia	Média Alta	Em Desenvolvimento	3	3	4
27	México	Média Alta	Em Desenvolvimento	3	3	4
28	Moldova	Média Baixa	Em Desenvolvimento	4	4	4
29	Noruega	Alta	Desenvolvida	1	1	1
30	Polónia	Alta	Desenvolvida	4	4	4
31	Portugal	Alta	Desenvolvida	3	3	3
32	Reino Unido	Alta	Desenvolvida	2	2	2
33	República Tcheca	Alta	Desenvolvida	4	4	3
34	Romênia	Média Alta	Em Desenvolvimento	3	3	3
35	Rússia	Média Alta	Em Desenvolvimento	4	3	2
36	Singapura	Alta	Desenvolvida	4	4	4
37	Suécia	Alta	Desenvolvida	1	1	1
38	Suíça	Alta	Desenvolvida	1	1	1
39	Turquia	Média Alta	Em Desenvolvimento	3	3	3
40	Ucrânia	Baixa – Média	Em Desenvolvimento	4	4	3

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa e Banco Mundial (2010).

Nota: Países de baixa-média renda e demédia-superior foram separados pelo PIB *per capita* de \$4.125.

FIGURA 1 – Mapa dos agrupamentos dos países após a reclassificação final



Fonte: Elaboração própria com base no software ArcView 3.0. Nota: Os países em branco não constam na amostra de países analisadas.

5- Conclusões

O desenvolvimento das inovações tecnológicas representa o progresso econômico e é fundamental para acelerar as taxas de crescimento econômico dos países. Contudo, na atualidade, faz-se necessário que os avanços econômicos sejam equilibrados entre a manutenção do crescimento econômico das nações e a suscetibilidade ambiental referentes aos impactos do meio ambiente a médio e longo prazo. As exigências tecnológicas primordiais recaem sobre as fontes mais poluidoras, promovendo e induzindo a produção de tecnologias de energia alternativa, de reciclagem e gestão de resíduos, de conservação de energia, entre outras. As inovações ambientais, nesse caso, apresentam-se como a forma mais eficiente e capaz de manter o equilíbrio entre o crescimento econômico e a busca de uma melhor qualidade de vida. Da mesma forma, para que seja estabelecido um ambiente propício ao desenvolvimento das inovações ambientais, é necessário que os países criem e promovam uma infraestrutura adequada, instruída ao aperfeiçoamento de tecnologias existentes e ao desenvolvimento de inovações.

Para que seja estabelecido esse profícuo ambiente, faz-se necessário o fortalecimento e o desenvolvimento de um sólido Sistema Nacional de Inovação (SNI), criando-se uma atmosfera adequada que permita diminuir as incertezas e endogeneizar o progresso tecnológico a ser adquirido (ALBUQUERQUE, 1999). Nesse caso, o progresso tecnológico que advém do desenvolvimento tecnológico dos países deve ser vinculado à dimensão ambiental e a todos os aspectos inerentes à dimensão sistêmica envolvida nos países como os fatores econômicos, político e social. A partir dessa concepção multidisciplinar, os produtos e processos tecnológicos que visam a mitigar os impactos ambientais são bastante influenciados por fatores determinantes e se tornam fundamentais para que se viabilize e fortaleça as inovações ambientais nos países. Entre esses aspectos determinantes, encontram-se acordos e tratados internacionais, além de políticas ambientais e tecnológicas que visam à mitigação dos impactos ambientais paralelamente à produção e incentivo de tecnologias alternativas.

É oportuno ressaltar que a maioria dos países que compõem o grupo G7 mostraram condições propícias ao desenvolvimento da capacidade tecnológica ambiental, apresentadas pelas dimensões definidas neste estudo. De acordo com os resultados, o grupo de países desenvolvidos está, em sua totalidade, localizado nos grupos 1 e 2, que são compostos por economias cujo desempenho tecnológico ambiental está associado à maior emissão de gases poluentes e ao maior dinamismo científico e econômico. O resultado referente aos grupos 1 e 2 pode ser caracterizado também pelo desempenho dos países de acordo com suas matrizes energéticas, que nos últimos quarenta anos apresentaram significativas alterações estruturais em suas composições (MME, 2013; MME, 2015). Em outras palavras, as principais fontes energéticas dos países desenvolvidos, principalmente dos países membros da OCDE¹⁰ passaram de carvão e petróleo para o gás natural e a eletricidade (MME, 2013). Apesar dos países desenvolvidos ainda serem considerados líderes em emissões de gases poluentes, observou-se, nos últimos anos, um grande esforço tecnológico por parte das economias. Tal constatação reflete-se na diminuição do uso da fonte energética do petróleo e derivados (-16,3%) (MME, 2013), o qual pode ser justificado pela diversificação de outras fontes alternativas energéticas, como a energia solar, eólica e hidroelétricas. Contudo, em relação à matriz energética mundial, deve ser ressaltado que houve um aumento da participação do carvão mineral e uma diminuição no uso de fonte energética de biomassa (MME, 2013). Esse resultado pode ser fruto da substituição da biomassa por fontes energéticas mais eficientes como o gás natural e o gás liquefeito de petróleo (GLP), principalmente nos países em desenvolvimento (MME, 2013). E no caso do carvão mineral, apesar dos avanços e progressos tecnológicos ambientais realizados pela China, ainda há relevância do uso desta fonte para a geração de energia nas termelétricas.

¹⁰A Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) é composta pelos seguintes países membros: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Chile, Coreia do Sul, Dinamarca, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Israel, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Eslovaca, República Tcheca, Suíça, Suécia e Turquia.

Em relação às análises de *clusters* e discriminante, grande parte dos países manteve-se em seus respectivos grupos, a partir das características intrínsecas para cada ano. A formação dos grupos 1 e 2 representou a configuração de fatores mais relacionados aos países desenvolvidos, com maior desenvolvimento econômico, boa infraestrutura científica e tecnológica ambiental. As economias que se enquadraram no perfil dos grupos 1 e 2 foram: Austrália, Áustria, Estados Unidos, Reino Unido, Suécia e Suíça. Excepcionalmente, países em desenvolvimento como a China, a Índia e a Rússia (esses dois últimos apenas no ano de 2010) apresentaram evidências de características e fatores relacionados aos países desenvolvidos, comprovando o esforço tecnológico ambiental dessas economias nos últimos dez anos. Quanto aos agrupamentos 3 e 4 foram encontradas características mais condizentes com países cujos Sistemas Nacionais de Inovação podem ser considerados como imaturos. Nesse sentido, observou-se que países como o Brasil, a África do Sul, a Turquia, e até mesmo países desenvolvidos como Portugal, Polônia, Irlanda, e Luxemburgo apresentaram atributos como baixo desenvolvimento econômico, pouca produção de energias alternativas, escasso consumo de energias renováveis, baixa produção tecnológica e ambiental, além de uma proporção um pouco menor de emissão de gases poluentes, em relação aos países desenvolvidos. Grande parte dos atributos encontrados nesse grupo pode estar relacionado a Sistemas Nacionais de Inovação ainda em desenvolvimento, que passam por períodos de transição tecnológica e carecem de mais infraestrutura e investimentos em tecnologias ambientais. Em outras palavras, o desenvolvimento da tecnologia ambiental por parte dos países em desenvolvimento envolve além dos conjuntos de fatores apresentados, a trajetória de um processo de aprendizado nacional, que é cumulativo e determina satisfatoriamente como cada economia será capaz de lidar com as novas tecnologias.

Do ponto de vista das sugestões de políticas, a partir dos diversos quadros e estágios de SNI, é provável supor que tanto políticas tecnológicas quanto as políticas ambientais devam conjugar ações pertinentes dos planejadores públicos. Freeman e Soete (2008) balizam algumas propostas políticas que se enquadram bem ao contexto das políticas públicas e visam à implantação de um desenvolvimento ambientalmente sustentável. Duas vertentes políticas são propostas, e paralelamente consistem na promoção de investimentos em direção à produção de tecnologias ambientais e de políticas que fomentam o desenvolvimento e a difusão dessas tecnologias. Ambas as sugestões convergem para as propostas elaboradas por Freeman e Soete (2008). São elas:

- a) políticas que podem ser usadas para orientar inovações, principalmente em direção a tecnologias de processos mais limpos, principalmente à produção de energias alternativas;
- b) políticas que influenciem o processo de inovação e assegurem a difusão de novos conhecimentos.

A primeira opção engloba sugestões como a regulação direta, padrões de qualidade do ar, da água, dos solos; instrumentos econômicos (taxação de emissões e licenças de emissões comercializáveis); regulações governamentais (apoio direto ao P&D; subsídios). Tais políticas, num primeiro momento, deveriam englobar todas as economias desenvolvidas e em desenvolvimento, porém com maior intensidade às nações mais desenvolvidas e poluidoras.

Quanto à segunda sugestão política, seu teor seria mais orientado a inovações que visem ao desenvolvimento de tecnologias ambientais que aumentem a competitividade de setores produtivos, aproveitem as janelas de oportunidades que surgem de novos paradigmas (principalmente nos países em desenvolvimento) e que permitam a construção de uma base técnico-científica nos Sistemas Nacionais de Inovação mais imaturos. Ambas as políticas podem ser atreladas a acordos internacionais em determinadas áreas tecnológicas, como por exemplo, nas áreas de Produção de Energia Alternativa, para que haja estímulo à competitividade e à difusão de novas tecnologias neste campo.

Referências

- ALBUQUERQUE, E. National Systems of Innovation and Non-OECD Countries: Notes about a rudimentary and tentative Typology. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 19, n. 4, p. 35–54, 1999.
- ARRUDA, C., CARVALHO, F. **Inovações ambientais: oportunidades de negócios, políticas públicas e tecnologias**. 1ª. Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- ARUNDEL, A.; KEMP, R. Measuring eco-innovation. Working Paper Series. UNU-MERIT, 2009. No. 2009-017, Maastricht: The Netherlands. Disponível em: <<http://www.oecd.org/env/consumption-innovation/43960846.pdf>>. Acesso em: 20 de julho de 2014.
- BANCO MUNDIAL. **Base de dados**. 2015. Disponível em: <<http://www.worldbank.org>>. Acesso em: 14 ago 2015.
- BERKHOUT, F. Technological regimes, environmental performance and innovation systems: tracing the links. In: WEBER, M., HEMMELSKAMP, J. **Towards environmental innovation systems**. Heidelberg: Springer, 2005. cap. 3, p. 57-80.
- BRUNNERMEIER, S. B., M. A. COHEN. Determinants of Environmental Innovation in the US Manufacturing Industries. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 45, n.2, p. 278-293, 2003.
- CMMAD. Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. 2ª. Edição. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1988.
- CRESPI, F. Environmental Policy and Induced Technological Change in European Industries. In: V. CONSTANTINI, M. MAZZANTI. **The Dynamics of Environmental and Economic Systems: Innovation, Environmental Policy and Competitiveness**. Springer: Dordrecht, 2013. cap. 8, p.143-157.
- DECHEZLEPRÊTRE, A., GLACHANT, M., HAŠČIČ, I., JOHNSTONE, N., MÉNIÈRE, Y. Invention and Transfer of Climate Change-Mitigation Technologies: A Global Analysis. *Review of Environmental Economics and Policy*, v. 5, n. 1, p. 109-130, 2011.
- DOSI, G., PAVITT, K., SOETE, L. **The Economics of Technical Change and International Trade**. Brighton : Wheatsheaf, 1990.
- EPO. European Patent Office. Data Catalog. **EPO Worldwide Patent Statistical Database**. April 2013.
- NELSON, R. R. **National Systems of Innovation: A Comparative Study**. Columbia University: Oxford University Press. 1993.
- FREEMAN, C., SOETE, L. **A economia da inovação industrial**. Campinas : Editora da Unicamp, 2008.
- FREEMAN, C. **Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan**. London: Pinter, 1987.
- FREEMAN, C. Continental, national and sub-national innovation systems – complementarity and economic growth. **Research Policy**, v. 31, n.2, p. 191-211, 2002.
- HAIR, J. G., ANDERSON, R. E., TATHAM, R. L. BLACK, W. C. **Multivariate Data Analysis**. 5ª. Edição. Prentice Hall: New Jersey, 1995.
- HAŠČIČ, I., JOHNSTONE, N., WATSON, F., KAMINKER, C. Climate Policy and Technological Innovation and Transfer: an overview of trends and recent empirical results. **OECD Environment Working Paper**, n. 30, OECD Publishing, 2010.
- INPI. **Manual para o depositante de patentes**. Diretoria de Patentes – DIRPA, Abril de 2015.
- JAFFE, A.B., K. PALMER. Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study. **Review of Economics and Statistics**. n. 79, n. 4, p. 610-619, 1997.
- JOHNSON, R. A., WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 6ª edição, 2007.
- KEMP, R., ARUNDEL, A. Survey indicators for environmental innovation. **IDEA Paper Series 8**. 1998.
- LANJOUW, J. O., MODY, A. Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology. **Research Policy**, v. 25, p. 549-571, 1996.
- LUCCHESI, Andrea. **Environmental innovations: evidence from Brazilian manufacturing firms**. 2013. Tese (Doutorado em Economia das Instituições e do Desenvolvimento) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidad de São Paulo, São Paulo, 2013.

LUNDVALL, B-A. **National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning**. 2^o Edition. London: Pinter Publishers. 1995.

MEI. Measuring Eco-innovation. (Report). European Project (FP6-2005-SSP-5A). **Final Report. 2008.**

MME. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira 2013**. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3597128/01+-+Resenha+Ener%C3%A9tica+Brasileira+2014+-+Ano+Base+2013+\(PDF\)/a54f22a2-e5bd-46af-8a28949934244cb2;jsessionid=EA174D8159C21B7C94B25A59F05C52EC.srv155?version=1.4](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3597128/01+-+Resenha+Ener%C3%A9tica+Brasileira+2014+-+Ano+Base+2013+(PDF)/a54f22a2-e5bd-46af-8a28949934244cb2;jsessionid=EA174D8159C21B7C94B25A59F05C52EC.srv155?version=1.4)>. Acesso em 04 abril 2016.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira 2014**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Ener%C3%A9tica+-+Brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>>. Acesso em 04 abril 2016.

MOWERY, D. C., NELSON, R. R., MARTIN, B. R. Technology policy and global warning: Why new policy models are needed (or why putting new wine in old bottles won't work). **Research Policy**. v. 39, n. 8, p. 1011-1023, 2010.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1^a edição, 2007.

OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. Guidelines for collecting and interpreting innovation data. **Oslo Manual**. 3^a. Edição. 2005.

OECD. The OECD set of green growth indicators. Green Growth Indicators 2014. **OECD Publishing. 2014**. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264202030-11-en>>. Acesso em: 13 dez. 2015.

OLTRA, V. Environmental innovation and industrial dynamics: the contributions of evolutionary economics. **Working Papers of GREThA**, n° 2008-28. 2008.

OLTRA, V., SAINT JEAN, M. Sectoral systems of environmental innovation: an application to the French automotive industry. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 76, n.4, p. 567-580, 2009.

RENNINGS, K. Redefining innovation - eco-innovation research and the contribution from ecological economics. **Ecological Economics**, v. 32, n.2, p. 319-332, 2000.

RENNINGS, K., ZWICK, T. **Employment impacts of cleaner production**. ZEW Economics Studies, v. 21. Heidelberg: Springer, 2003.

RENNINGS, K.; ZIEGLER, A.; ANKELE, K.; HOFFMANN, E. The influence of different characteristics of the EU Environmental Management and Auditing Scheme on Technical Environmental Innovations and Economic Performance. **Ecological Economics**, v. 7, n. 1, p. 45-59. 2006.

ROHRICH, S. S., PEREIRA, N. M. Trajetórias Tecnológicas e Prospectivas para o Setor Energético: Considerações a Respeito dos Obstáculos e Oportunidades para a Economia do Hidrogênio. In: ARRUDA, C., CARVALHO, F. **Inovações ambientais: políticas públicas, tecnologias e oportunidades de negócios**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014, cap. 2, p. 37- 66.

TGCII. **The Global Cleantech Innovation Index**. Nurturing Tomorrow's Transformative Entrepreneurs. Cleantech Group e WWF. 2014.

VAN DER BERGH, J. **Handbook of Environmental and Resource Economics**. Cheltenham and Northampton: Edward Elgar, 1999.