

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL

ROSA LIVIA GONÇALVES MONTENEGRO

INOVAÇÕES AMBIENTAIS E SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO:
CARACTERIZAÇÕES PARA O PERÍODO 1990-2010

BELO HORIZONTE
2016

ROSA LIVIA GONÇALVES MONTENEGRO

INOVAÇÕES AMBIENTAIS E SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO:
CARACTERIZAÇÕES PARA O PERÍODO 1990-2010

Tese apresentada ao curso de doutorado do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Britto

Coorientador: Dr. Leonardo Costa Ribeiro

BELO HORIZONTE – MG
2016

Ficha Catalográfica

M777i
2016

Montenegro, Rosa Livia Gonçalves.
Inovações ambientais e sistemas nacionais de inovação
[manuscrito] : caracterizações para o período 1990-2010 / Rosa
Livia Gonçalves Montenegro. – 2016.
210 f.: il., gráfs. e tabs.

Orientador: Gustavo Brito.

Coorientador: Leonardo Costa Ribeiro.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais,
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional.

Inclui bibliografia (f. 176-187) e anexos.

1. Inovações tecnológicas – Aspectos ambientais – Teses.
2. Análise multivariada – Teses. I. Brito, Gustavo. II. Ribeiro,
Leonardo Costa. III. Universidade Federal de Minas Gerais.
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. IV. Título.

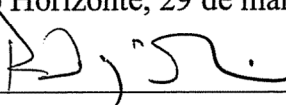
CDD: 600

Elaborada pela Biblioteca da FACE/UFMG – NMM077/2016

Curso de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas

ATA DE DEFESA DE TESE DE ROSA LÍVIA GONÇALVES MONTENEGRO Nº. REGISTRO 2012653000. Às quatorze horas do dia vinte e nove do mês de março de dois mil e dezesseis, reuniu-se na Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais a Comissão Examinadora de TESE, indicada “ad referendum” pelo Colegiado do Curso em 10/03/2016, para julgar, em exame final, o trabalho final intitulado “**Inovações ambientais e sistemas nacionais de inovação: caracterizações para o período 1990-2010**”, requisito final para a obtenção do Grau de *Doutor em Economia*, área de concentração em Economia Regional Urbana. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Rodrigo Ferreira Simões, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra à candidata, para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do resultado final. A Comissão aprovou a candidata por unanimidade. O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 29 de março de 2016.

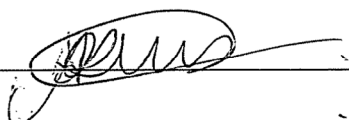
Prof. Rodrigo Ferreira Simões
(CEDEPLAR/FACE/UFMG)



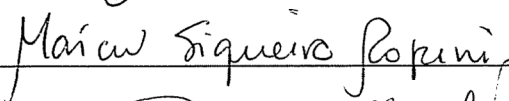
Prof. Leonardo Costa Ribeiro
(Coorientador) (INMETRO/RJ)



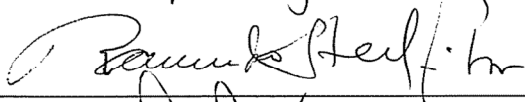
Profª. Aline Souza Magalhães
(CEDEPLAR/FACE/UFMG)



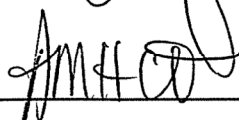

Profª. Márcia Siqueira Rapini
(CEDEPLAR/FACE/UFMG)



Prof. Raimundo de Souza Leal Filho
(FJP)



Prof. Renato de Castro Garcia
(UNICAMP)



Profª. Ana Maria Hermeto Camilo de Oliveira
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Economia

*Dedico esta tese aos meus pais, Waldemar e Suely
e ao meu namorado, Admir*

AGRADECIMENTOS

A Deus, sem o qual nada é possível.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gustavo Britto, pela paciência, pela ajuda nos momentos mais decisivos da tese e, principalmente, pela oportunidade de realização da minha pesquisa na Universidade de Bologna. Obrigada por todo o apoio!

Ao meu coorientador, o pesquisador Leonardo Ribeiro (INMETRO), agradeço pela grande ajuda na programação da base de dados e na parte empírica da pesquisa. Sua contribuição foi muito importante para o desenvolvimento desta tese. Aproveito também para expressar minha gratidão ao INMETRO, no Rio de Janeiro, e a toda a equipe de funcionários da repartição, por disponibilizar o espaço para preparação da minha base de dados.

Aos professores membros da banca de qualificação, Prof. Dr. Ricardo Ruiz, Profa. Dra. Flávia Carvalho e Profa. Dra. Márcia Rapini, agradeço pelas importantes sugestões e comentários que nortearam esta pesquisa. Agradeço também aos professores membros da banca de defesa, Prof. Dr. Renato Garcia, Prof. Dr. Raimundo de Souza, Prof. Dr. Rodrigo Simões, Profa. Dra. Márcia Rapini e Profa. Dra. Aline Magalhães, pela disponibilidade, compreensão e valiosas contribuições para esta tese.

Às agências de fomento FAPEMIG e CAPES pelo apoio financeiro durante o período de desenvolvimento da tese.

À Profa. Dra. Flávia Carvalho, pelo apoio e pelas sugestões de material bibliográfico relacionadas ao campo da inovação ambiental. À Dra. Fabiana Borges, pela oportunidade de trabalhar na pesquisa realizada em 2011. Seu apoio naquele ano foi fundamental para o meu êxito no ingresso no doutorado. À Profa. Dra. Ana Maria Hermeto, por estar sempre disponível para esclarecer minhas dúvidas e por todo o apoio concedido ao longo do doutorado. Ao Prof. Dr. Marco Flavio Resende, pela atenção, cordialidade e ajuda nos momentos decisivos do doutorado. À economista Clara Coelho, pela disponibilidade e pelo esforço empreendido no banco de dados Patstat.

Ao meu orientador no exterior, Prof. Alireza Naghavi e ao diretor do Centro de Pós-Graduação, Prof. Matteo Cervellatti, ambos da Universidade de Bologna. Agradeço pelos ensinamentos, pela oportunidade de pesquisar junto à equipe de professores da Universidade, e por toda atenção durante minha estadia em Bologna.

Aos meus queridos *flatmates* Ana Carolina e Gustavo, que preencheram o lar de alegria e tranquilidade, e pela amizade firmada ao longo dos anos.

Às minhas queridas amigas, Ana Luiza, Fernanda e Carla Poliana, obrigada pelas conversas, cafés e exposições. Vocês tornaram meus momentos em Belo Horizonte mais ricos e felizes!

Aos meus colegas e amigos do doutorado e do CEDEPLAR, Antônio, Camilla, Glaucia, Luciano, Luiz Carlos, Sibelle, Thiago, Ulisses, Leandro Silva, Flaviane, Rafael, Marcelo Piaba, Héder, Luiz Carlos Gama e Júlia Calazans, pelos papos produtivos e pelas horas agradáveis de convivência no CEDEPLAR. Meu agradecimento especial à minha amiga Débora, que dividiu comigo os momentos mais importantes e decisivos do doutorado, até o finalzinho desta tese. Obrigada Debby!

Aos colegas da turma de doutorado em Economia, da Universidade de Bologna: Efsan, Elena, Milenko, Nicola, Norhane, Peter, Romina, agradeço por toda a assistência oferecida e por todos os momentos de convivência. Às minhas amigas da Itália, Rossella, Marta e Luisa, *grazie mille, ragazze!* À minha amiga, Helena Rozova, obrigada pelos momentos de alegria em Bologna e por tornar a distância de casa menos difícil.

Aos funcionários do CEDEPLAR, em especial, Cecília, Cleusa e Sebastião, pela atenção e cordialidade em todos os momentos necessários.

Por último, e não menos importante, agradeço a toda a minha família. Aos meus pais, Waldemar e Suely, muito obrigada por compreenderem minha ausência ao longo desse período do doutorado, pelo apoio incondicional, e por serem sempre meu porto seguro nos momentos mais difíceis. Ao meu irmão, Leonardo, muito obrigado pelo apoio e por toda a assistência na área de informática. À minha cunhada, Elizabeth, pela alegria, entusiasmo e por todo o carinho ao longo desses anos que eu passei longe das comemorações da Esther. À minha querida sobrinha Esther, por todos os momentos de alegria, travessura e muito amor.

Ao meu grande companheiro nessa jornada acadêmica, meu namorado, Admir. Palavras são poucas para expressar o quanto o admiro e o quanto seu amor, apoio e carinho foram fundamentais para a conclusão desta etapa. Muito obrigada pela compreensão e por estar ao meu lado, o tempo todo.

A todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento desta tese.

RESUMO

Os danos ambientais gerados pelas atividades econômicas e institucionais são preocupações recorrentes na pauta desta tese. 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. Dada a magnitude e o caráter internacional dos problemas ambientais, as metas para um mundo com mais sustentabilidade tornam-se essenciais 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. Assim, o objetivo desta tese é caracterizar e identificar possíveis fatores condicionantes à capacidade ambiental dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Para atingir esse propósito, a pesquisa inicialmente 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, que propiciam o desenvolvimento tecnológico ambiental. As patentes são utilizadas como *proxy* da inovação e da capacidade tecnológica ambiental dos países, cujas informações foram extraídas do escritório de patentes europeu (EPO), de acordo com suas classificações tecnológicas ambientais, representadas pela classe internacional de patentes (IPC). A articulação de quatro técnicas metodológicas permitiu um mapeamento estático das configurações específicas e transição entre grupos de quarenta economias mundiais nos períodos de análise, bem como das interações entre áreas científicas e dos campos tecnológicos a partir das patentes ambientais. Assim, aplicou-se a Análise Qualitativa Comparativa, a Análise de *Clusters*, a Análise Discriminante e as Matrizes de Interação entre Ciência e Tecnologia. Os principais resultados alcançados revelam contribuições à literatura evolucionária e avanços (embora de menor proporção) quanto à evolução dos Sistemas Nacionais de Inovação dos países em desenvolvimento. Notadamente, a influência de tratados e os protocolos internacionais ambientais contribuíram para o aumento da produção de tecnologias ambientais no período em estudo, principalmente após o ano de 1990. As inovações incorporadas às análises desta tese permitem identificar as configurações específicas à inovação dos países quanto aos seus condicionantes ambientais, à transição dos países com diferentes padrões de SNIs e às assimetrias reveladas pelo peso da ciência e tecnologia para as bases científicas nacionais.

Essas caracterizações contribuem para as estratégias de políticas em desenvolvimento tecnológico ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Inovações Ambientais - Sistemas Nacionais de Inovação – QCA - Análise Multivariada - Matrizes de Interação entre Ciência e Tecnologia.

ABSTRACT

Environmental damage caused by economic and institutional activities are a recurring concern in debates on the 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 thesis characterizes and identifies possible conditioning factors to the environmental capacity of developed and developing countries. Research initially 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. Patents are employed as proxy for innovation and for the environmental technological development of countries with information retrieved from the European Patent Office (EPO) according to their environmental technological classifications represented by the International Patent Class (IPC). The formulation of four methodological techniques provided a static mapping of specific configuration and transitivity among groups of forty world economies during analysis and of interaction between scientific areas and technological fields as from environmental patents. Qualitative Comparative Analysis, Clusters Analysis, Discriminating Analysis and Interaction Matrices between Science and Technology 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. International treaties and protocols on the environment have increased the production of environmental technologies during the period under analysis, especially after 1990. Innovations incorporated in the analyses of current thesis identify the specific configurations to innovation of the countries with regard to their environmental conditionings, to the transitivity of countries with different SNIs standards and to asymmetries revealed by Science and Technology for the national scientific bases. These traits contribute towards policy strategies in environmental technological development.

Keywords: Environmental Innovations. National Systems of Innovation. Qualitative Comparative Analysis. Multivariate Analysis. Interaction Matrices between Science and Technology.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Exemplo ilustrativo da classificação tecnológica de uma patente.....	62
FIGURA 2 – Mapa dos agrupamentos dos países após a reclassificação final.....	134
FIGURA 3 – Gráficos de Interação Ciência e Tecnologias Mundiais	147
FIGURA 4–Interações entre subdomínios tecnológicos e áreas científicas (1990).....	149
FIGURA 5 – Interações entre subdomínios tecnológicos e áreas científicas (2000).....	150
FIGURA 6 – Interações entre subdomínios tecnológicos e áreas científicas (2010).....	151
FIGURA 7 – Gráficos de Interação para os países do grupo G7 (1990).....	155
FIGURA 8 – Gráficos de Interação para os países do grupo BRICS (2000).....	157
FIGURA 9 – Gráficos de Interação para os países do grupo G7 (2000).....	159
FIGURA 10 – Gráficos de Interação para os países do grupo BRICS (2010).....	161
FIGURA 11 – Gráficos de Interação para os países do grupo G7 (2010).....	163

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Evolução do depósito de patentes total e ambientais (milhares)	63
GRÁFICO 2 –Patentes ambientais por classes tecnológicas.....	65

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – As ondas sucessivas de progresso técnico.....	29
QUADRO 2 – Principais determinantes das inovações ambientais.....	42
QUADRO 3 – Estudos empíricos com <i>proxies</i> de patentes para inovações ambientais.....	58
QUADRO 4 – Resumo das variáveis utilizadas para a aplicação metodológica.....	75
QUADRO 5 – Diferenças entre as técnicas quantitativas tradicionais e <i>fsQCA</i>	81
QUADRO 6 –Tipologias utilizadas no QCA: resultado e condições causais.....	82
QUADRO 7 – Comparações entre as técnicas aglomerativas hierárquicas.....	90
QUADRO 8 – Resultados dos conjuntos das configurações específicas.....	101
QUADRO 9 – Minimização dos conjuntos de condições.....	105
QUADRO 10 – Configurações específicas de acordo com a solução intermediária.....	110
QUADRO 11 – Países que integram as configurações na solução intermediária.....	113
QUADRO 12 – Classificações finais em grupos para os países.....	133

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Participação das patentes ambientais por classes tecnológicas no grupo G7 (1990-2010)	67
TABELA 2 - Patentes ambientais por classes tecnológicas no BRICS (1990-2010)	69
TABELA 3 – Âncoras qualitativas aplicadas na calibragem (<i>fsQCA</i>)	83
TABELA 4 – Configurações consistentes conforme o teste	104
TABELA 5 – Análise da Tabela Verdade	108
TABELA 6 – Testes de independência e correlação das variáveis	117
TABELA 7 – Teste para normalidade multivariada.....	118
TABELA 8 – Método de classificação de Lachenbruch (1990)	120
TABELA 9 – Probabilidades de reclassificação (%) de certos países (1990).....	121
TABELA 10 – Estatísticas descritivas das variáveis por agrupamentos (1990).....	123
TABELA 11–Método de classificação de Lachenbruch (2000)	124
TABELA 12 – Probabilidades de reclassificação (%) de certos países (2000).....	124
TABELA 13 – Estatísticas descritivas das variáveis por agrupamento (2000).....	126
TABELA 14–Método de classificação de Lachenbruch (2010)	127
TABELA 15 – Probabilidades de reclassificação (%) de certos países (2010).....	128
TABELA 16 – Estatísticas descritivas das variáveis por agrupamento (2010).....	130
TABELA 17 – Indicadores de desempenho das matrizes tecnológicas ambientais.....	152
TABELA 18 – Indicadores de desempenho das matrizes tecnológicas ambientais (1990) ...	156
TABELA 19 – Indicadores de desempenho das matrizes tecnológicas ambientais (2000) ...	158
TABELA 20 – Indicadores de desempenho das matrizes tecnológicas ambientais (2010) ...	160

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SNI – Sistemas Nacionais de Inovação

OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

IPC – Classificação Internacional de Patentes

QCA – Análise Qualitativa Comparativa

EPO – Escritório de Patentes Europeu

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial

ISI- Institute for Scientific Information

OST – Observatoire des Sciences et des Techniques

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Estrutura da Tese	22
2	ASPECTOS TEÓRICOS DE INOVAÇÃO AMBIENTAL	25
2.1	As abordagens schumpeteriana e evolucionária sobre o paradigma tecnoeconômico	25
2.2	Inovação ambiental e a complexidade de sua definição.....	31
2.3	Externalidades sobre a firma e seu papel como determinante ambiental.....	36
2.4	A literatura empírica a respeito de determinantes da inovação ambiental	40
2.5	Sistemas Nacionais de Inovação: desenvolvimento e apoio aos novos desafios ambientais.....	47
2.6	Considerações Finais	49
3	CARACTERÍSTICAS E DIMENSÕES DAS PATENTES AMBIENTAIS.....	51
3.1	Literatura empírica sobre inovações ambientais a partir das <i>proxies</i> de patentes. 52	
3.2	A Base de Dados Europeia (EPO), o Sistema de Classificação Internacional (IPC) e o Inventário Verde (<i>Green Inventory</i>).....	59
3.3	Análise exploratória das patentes ambientais: evolução e desempenho (1990-2010)	63
3.4	Indicadores de desenvolvimento econômico, tecnológico, científico e ambiental	70
3.5	Considerações Finais	75
4	TÉCNICAS ESTATÍSTICAS DE CARACTERIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES	77
4.1	Análise Comparativa e Qualitativa <i>fuzzy set</i> (fsQCA)	79
4.1.1	Conceitos, definições, calibragem e âncoras qualitativas	81
4.2	Análise de <i>Clusters</i>	86
4.2.1	Técnicas de Agrupamento Hierárquicas.....	87
4.2.2	Técnicas de Agrupamento Não – Hierárquicas	90
4.3	Análise Discriminante	92
5	RESULTADOS EXPLORATÓRIOS DAS TÉCNICAS ESTATÍSTICAS	99
5.1	Configurações específicas para os países nos anos de 1990, 2000 e 2010	99
5.2	Análises de <i>Clusters</i> e Discriminante: identificação e classificação dos países .	115

5.3	Considerações Finais	135
6	MATRIZES DE INTERAÇÃO ENTRE CIÊNCIA E TECNOLOGIA	137
6.1	Construção das Matrizes de Interação entre Ciência e Tecnologia.....	137
6.1.1	Revisão de literatura sobre as matrizes de Ciência e Tecnologia (C&T).....	139
6.1.2	Construção dos Indicadores a Partir das Matrizes de Interação	142
6.2	As dimensões dos paradigmas ambientais nas Matrizes de Interação	145
6.3	Considerações Finais	164
7	CONCLUSÕES.....	169
	REFERÊNCIAS	177
	ANEXOS.....	188
	ANEXO A – CLASSIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS VERDES ADOTADAS, DE ACORDO COM A CLASSE TECNOLÓGICA IPC.....	188
	ANEXO B – MATRIZ DE COINCIDÊNCIA (1990, 2000 E 2010).....	197
	ANEXO C – MATRIZES DE SUFICIÊNCIA E NECESSIDADE (1990, 2000 E 2010).....	197
	ANEXO E - GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-NORMAIS DAS VARIÁVEIS (1990, 2000 E 2010).....	199
	ANEXO F – GRÁFICOS DAS DISTRIBUIÇÕES NORMAIS PARA AS VARIÁVEIS FUZZY (1990, 2000 E 2010).....	202
	ANEXO G – MATRIZES DE CORRELAÇÃO PARA AS VARIÁVEIS FUZZY (1990, 2000 E 2010)	205
	ANEXO H – ANÁLISE DOS DENDOGRAMAS PARA OS MÉTODOS HIERÁRQUICOS DE WARD (1990)	206
	ANEXO I – RESULTADOS DOS AGRUPAMENTOS PELOS MÉTODOS HIERÁRQUICOS (1990).....	207
	ANEXO J – RELAÇÃO COM OS 30 SUBDOMÍNIOS TECNOLÓGICOS E AS 27 DISCIPLINAS DE CIÊNCIA E ENGENHARIA (C&E).....	208

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 decisório 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.

Os incentivos à inovação e ao progresso tecnológico em diversos setores da economia são os mais variados possíveis. Diante do maior impacto de recursos energéticos renováveis e não renováveis, as economias têm respondido com o desenvolvimento de tecnologias alternativas (e.g. o desenvolvimento de energia eólica, agora usada indiretamente como meio de geração de energia elétrica e para a propulsão de navios). Outro exemplo é a exportação das tecnologias de energias solar e eólica que cresceram muito na última década, tanto entre países desenvolvidos como em países em desenvolvimento (OECD, 2010).

Adicionalmente, políticas relacionadas à mitigação de mudanças climáticas ganham destaque a nível global, assim como tratados e protocolos internacionais, como o Protocolo de Kyoto, que teve efeito direto sobre o crescimento da produção de tecnologias ambientais (HAŠČIČ *et al.*, 2010). Um crescente e contínuo esforço tem sido realizado sobre pesquisas relacionadas às questões ambientais que são afetadas diretamente pelo aumento do consumo e produção, bem como pelo processo de mudança tecnológica. A lógica nesse caso é a de que o aumento contínuo da produção, associado ao crescimento da população, requererá maior quantidade de recursos naturais, implicando o aumento de rejeitos no meio ambiente. Nesse contexto, Barret (2009) alerta sobre as limitações impostas ao funcionamento do mercado pelos problemas contemporâneos, relacionados às mudanças climáticas, como certificados de emissões de gases poluentes, impostos e taxas sobre emissões e resíduos, entre outros.

O grande desafio relacionado aos padrões tecnológicos atuais seria a criação de incentivos apropriados para o sistema econômico desenvolver tecnologias limpas e sustentáveis. Uma possível adaptação ou substituição dos padrões tecnológicos correntes, guiada por inovações ambientais, torna-se uma alternativa ou uma boa oportunidade para fomentar o crescimento sustentável e também proporcionar uma melhor qualidade de vida no futuro (LUCCHESI, 2013). Para esta mudança, espera-se que as escolhas e as ações dos consumidores convirjam para um conjunto de novas firmas e tecnologias capazes de criar e produzir uma nova seleção de produtos tecnológicos nos países (WINDRUM *et al.*, 2009).

Para tanto, a presente tese tem como principal objetivo caracterizar o desenvolvimento tecnológico ambiental de quarenta países nos anos de 1990, 2000 e 2010, a partir de diversos estágios dos Sistemas Nacionais de Inovação. Mais especificamente, este trabalho investiga o papel do desenvolvimento tecnológico e as configurações da capacidade de inovação ambiental inerentes às economias desenvolvidas e em desenvolvimento. Em suma, procura-se responder os seguintes problemas aplicados:

- a) *Quais as possíveis condições que viabilizariam a realização das atividades tecnológicas ambientais?*
- b) *Como os países podem ser caracterizados em grupos, de acordo com seu grau de capacidade tecnológica ambiental e de dimensões científica, econômica e de infraestrutura?*
- c) *Quais seriam as assimetrias científicas e tecnológicas que poderiam revelar as possíveis transições entre grupos, a partir das configurações específicas de desenvolvimento tecnológico ambiental nos países, nos anos de 1990, 2000 e 2010?*

Trabalhos como de Rohrich e Pereira (2014), Freeman (1995), Fagerberg (1994), Schumpeter (1934) elencam uma série de fatores, circunstâncias e oportunidades que influem nas trajetórias tecnológicas. Trata-se, pois, de um conjunto de processos simultâneos, tornando a análise das trajetórias tecnológicas um tema complexo e inerentemente difícil. Dessa forma, devido à dificuldade de quantificar e generalizar especialmente a multidimensionalidade do desenvolvimento tecnológico ambiental, assim como isolá-lo dos demais fatores (e.g., aspectos econômicos, políticos e sociais), esta tese pretende resgatar as principais correntes teóricas da economia neoschumpeteriana (evolucionária), cujo ramo busca explicar a dinâmica sistêmica da atividade inovativa e a evolução das trajetórias tecnológicas. De fato, existem poucas teorias capazes de explicar ou que diferenciam as trajetórias tecnológicas tradicionais do desenvolvimento tecnológico ambiental. O propósito desta revisão teórica é apresentar e relacionar os principais fatores motivadores das trajetórias tecnológicas anteriores a uma nova concepção de mudança técnica que envolva o caráter ambiental. Espera-se, assim, elencar os determinantes que estejam mais diretamente relacionados aos Sistemas Nacionais de Inovação e à sua dinâmica sistêmica com as inovações ambientais.

Ademais, esta discussão é corroborada pelos trabalhos empíricos de Lanjouw e Mody (1996), Jaffe e Palmer (1997), Taylor *et al.* (2003), Rave *et al.* (2011) e Constantini *et al.* (2013), por

exemplo, que abordam os fatores determinantes das inovações. Similarmente a esses trabalhos, esta tese aplicará as patentes como *proxy* da inovação ambiental dos países, extraídas do escritório de patentes europeu (EPO), de acordo com suas classificações tecnológicas ambientais, representada pela classe internacional de patentes (IPC). Portanto, a revisão teórica e empírica contribuirá para responder ao primeiro problema de pesquisa (a) desta tese.

Destarte, para responder aos demais problemas aplicados de pesquisa, é necessário conciliar um conjunto de técnicas estatísticas que permitam, de maneira exploratória, entender a natureza complexa das relações simultâneas dos Sistemas Nacionais de Inovação e sua dinâmica sistêmica com as inovações ambientais. Ao contrário das técnicas estatísticas preditivas, como métodos econométricos ou econométrico-espaciais, a análise comparativo-qualitativa (fsQCA) na variante de dados multivariados (RAGIN, 2000), originalmente desenvolvida por Ragin (1987), é um método apropriado para um número pequeno de países, como nesta tese, e permite apontar quais seriam as interações dos determinantes que influenciaram o resultado do desenvolvimento da inovação ambiental em cada país. Ou melhor, esta metodologia possibilita a identificação das configurações definidas como as situações em que um resultado pode ser alcançado (RAGIN, 2008).

A vantagem do fsQCA é que o mesmo possibilita ao pesquisador encontrar combinações distintas de variáveis causais que, por seu turno, sugerem diferentes caminhos teóricos de acordo com determinados resultados. Inseridos na temática desta tese, Meuer *et al.* (2015) aplicaram o QCA em um conjunto de 384 empresas suíças a fim de identificar cinco sistemas de inovação coexistentes: dois sistemas de inovação genéricos, o autárquico e a internalização do conhecimento; um sistema regional de inovação, a hierarquia protegida; e dois de inovação setorial: sistemas, ciências públicas e a aprendizagem organizada. Os resultados conclusivos dos autores apontaram que propensões de sistemas inovativos pareceram ser determinadas por vários tipos de inovação. Nessa constatação, destacam-se as interdependências que existem entre os diferentes tipos inovativos.

O uso do método QCA permite identificar países com capacidade inovativa igual ou próxima, mas com interações específicas diferentes. Em outro extremo, a capacidade inovativa ambiental entre os países pode revelar graus variados, porém certas interações dos determinantes podem ser frequentes. Por tratar as interações dos fatores para cada caso (observação), essa técnica as denomina como configurações específicas, cujas informações

estão latentes nas técnicas estatísticas de inferências e de análise multivariada. Uma vez que a análise desta tese se concentra em três recortes temporais (1990, 2000, 2010), as configurações específicas geradas pelo QCA são estáticas, ou seja, o propósito é fornecer “fotografias” das eventuais mudanças de configurações para cada um dos quarenta países da estrutura de dados apresentados. Essas mudanças que influem na capacidade inovadora ambiental de cada economia devem contribuir para o entendimento se um país tornou-se mais similar ou heterogêneo ao padrão existente dos demais países. Países mais similares devem compor naturalmente o mesmo grupo, enquanto os mais heterogêneos devem constituir outros grupos característicos.

Nesse sentido, esta tese aplica a Análise de *Cluster*. Entretanto, como os valores do critério de dissimilaridade usados para o agrupamento dos países podem alterar-se entre os três períodos, o que inviabilizaria uma análise comparativa e transitiva dos grupos intertemporais, formados pelas economias mundiais, a estratégia metodológica foi a de aplicar a técnica de Análise Discriminante das variáveis características de 2000 e 2010, a partir dos grupos previamente formados em 1990. Assim, além de manter a mesma partição final dos grupos, mantendo-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 essa transição possa ser justificada pelas mudanças nas configurações específicas da capacidade inovadora ambiental em cada país, nas três décadas. Resumidamente, essa hipótese se relaciona com os demais problemas de pesquisa supracitados (b e c).

Além disso, em razão dos problemas ambientais cada vez mais recorrentes, as quantidades e os tipos de energias utilizados têm sofrido flutuações ao longo do tempo, diante das mudanças tecnológicas ambientais e de algumas iniciativas políticas. Destarte, as análises descritivas e exploratórias desta tese podem contribuir para o debate em curso de inovação ambiental por oferecer comparativamente um panorama e classificações dos principais países, incluindo a economia brasileira. Por exemplo, a partir dos resultados divulgados é possível identificar a classificação do Brasil em termos de capacidade inovadora ambiental e compará-la com as economias desenvolvidas. Em suma, esse mapeamento detalhado deve ser de grande interesse para os formuladores que conduzem políticas ambientais e tecnológicas no país. Pode-se ainda traçar estratégias de políticas, priorizando os determinantes que mais favorecem o aumento do desenvolvimento tecnológico ambiental, como apresentados nos países desenvolvidos.

Por fim, a última aplicação metodológica envolve a construção das Matrizes Tecnológicas por intermédio das patentes ambientais. O objetivo do uso desta técnica é identificar quais áreas científicas e tecnológicas, a partir da amostra de países que compõem os grupos BRICS e G7, fomentam o desenvolvimento tecnológico ambiental nos anos de 1990, 2000 e 2010. Além disso, a representação gráfica das matrizes possibilitará diferenciar as características de Sistemas Nacionais de Inovação maduros e imaturos. As informações qualitativas presentes neste método complementarão as análises metodológicas representadas pelos métodos anteriores (QCA, Análises de *Cluster* e Discriminante), no sentido de identificar as disparidades existentes nos campos dos subdomínios tecnológicos e nas áreas científicas presentes nas patentes ambientais. Sendo assim, essa hipótese também se relaciona com o último problema de pesquisa explicitado no item (c), isto é, será possível identificar quais assimetrias científicas e tecnológicas específicas estão presentes no desenvolvimento tecnológico ambiental nos países observados, ao longo das décadas de 1990, 2000 e 2010.

A partir dos conjuntos das técnicas multivariadas e da construção das matrizes tecnológicas, a tese apresenta três grandes contribuições que ainda não foram exploradas pela literatura da área de inovação ambiental e dos Sistemas Nacionais de Inovação (SNI). A primeira delas refere-se à aplicação inédita de Análise Quantitativo Comparativa para a área de inovação ambiental, fornecendo configurações específicas que permitem análises comparativas entre as quarenta economias mundiais. Essas configurações ou combinações dos fatores determinantes às capacidades inovadoras sinalizaram que a quantidade de emissões de gases poluentes foi um fator proeminente nos resultados dos países. Por seu turno, a segunda contribuição consistiu uma nova forma de analisar as mudanças de classificação dos países em razão da variabilidade da estrutura de dados ao longo dos períodos, preservando a partição final e os grupos naturalmente formados em 1990. Ao conciliar a análise de *Cluster* e discriminante, essa forma apontou a transição das economias mundiais entre grupos em função das mudanças e dos diferentes padrões de SNIs. Os destaques nessas análises apontaram que os países em desenvolvimento, como a Índia, a Rússia e a China, já parecem deter fatores similares ou próximos ao fomento das atividades ambientais como nos grupos de economias desenvolvidas. Por fim, esta tese contribuiu para evidenciar as assimetrias e o peso da ciência e tecnologia mediante o desenvolvimento das matrizes de interação em um banco de dados amplo e relativamente novo. Para tanto, as matrizes de interação tecnológicas permitiram diferenciar como os SNIs maduros e imaturos mantêm o seu padrão tecnológico quando as patentes ambientais são avaliadas detalhadamente.

Em suma, as três contribuições supracitadas permitiram acompanhar as mudanças estruturais em análise estática nos países, ocorridas nos anos de 1990, 2000 e 2010, caracterizando o desempenho de diferentes economias mundiais pelas condições específicas ao desenvolvimento tecnológico ambiental e pelas interações científicas e tecnológicas de economias entre diferentes estágios de SNI.

1.1 Estrutura da Tese

Além deste capítulo introdutório, a presente tese organiza-se em mais cinco capítulos que contemplam objetivos específicos. O Capítulo 2 apresenta os mais importantes paradigmas tecnológicos que representaram as principais revoluções em áreas estratégicas tais como energia, transporte e tecnologia da informação. Além disso, enfatiza-se que as soluções implementadas pelos novos paradigmas em áreas consideradas chave não seriam definitivas, sendo essa a questão prioritária retratada pela teoria evolucionária, assim como as mudanças relacionadas às novas trajetórias tecnológicas (ROHRICH; PEREIRA, 2014; FREEMAN, 1996). Por sua vez, a literatura neo-schumpeteriana (FREEMAN, 2004; FAGERBERG, 1994) explica que o progresso tecnológico e seus efeitos positivos na economia têm um caráter local e global, sendo dependentes estritamente do grau de desenvolvimento do Sistema Nacional de Inovação (SNI) de uma economia. Nesse sentido, procedeu-se a uma breve revisão de literatura das teorias e das principais correntes da economia da tecnologia que investigam as circunstâncias, os determinantes, a difusão tecnológica e as janelas de oportunidades originárias ao longo do processo evolucionário e do nascente paradigma tecnoeconômico.

Por sua vez, o Capítulo 3 aprofunda-se no debate quanto aos fatores determinantes das inovações e descreve a base de dados utilizada na pesquisa. Baseado na literatura internacional¹, esse mesmo capítulo descreve o tratamento da base de dados, a realização de uma análise preliminar sobre o patenteamento ambiental ao longo dos anos e a construção das variáveis utilizadas nos estudos empíricos dos capítulos seguintes.

Em seguida, o Capítulo 4 detalha as técnicas estatísticas de análise exploratória de dados, quais sejam: Análise Qualitativa Comparativa (QCA), Análise de *Clusters* e Análise Discriminante, respectivamente. Como o QCA é um método relativamente novo no Brasil, o capítulo fornece mais ênfase ao mesmo, destacando alguns conceitos e propriedades.

¹Entre as referências podem ser citadas: Lanjoue e Mody (1996); Jaffe e Palmer (1997); Taylor *et al.* (2003); Rave *et al.* (2011); Constantini *et al.* (2013)

Posteriormente, o Capítulo 5 apresenta as análises exploratórias dos resultados oriundos das técnicas do capítulo 4. Este capítulo permite verificar se as condições especificadas na Análise Qualitativa Comparativa promovem as inovações ambientais nos países da amostra e qual o perfil dos mesmos a partir dessas condições em 1990, 2000 e 2010. Em seguida, todos os países da amostra são caracterizados em grupos, de acordo com os padrões tecnológicos ambientais e suas dimensões científica, econômica e de infraestrutura, por intermédio das Análises de *Clusters* e Discriminante. O objetivo deste capítulo é analisar as condições e os agrupamentos dos países em diferentes graus de maturidade dos Sistemas Nacionais de Inovação e, dessa forma, identificar quais são as evidências condicionantes ao desenvolvimento tecnológico das economias desenvolvidas e em desenvolvimento. Entre os principais resultados obtidos com as aplicações, observou-se que o nível de emissões de gases poluentes foi um fator condicionante ao desenvolvimento tecnológico ambiental dos países. Entretanto, apesar do aumento da atividade inovadora ambiental, as economias no período analisado não diminuíram o nível de emissões de gases, principalmente nas economias desenvolvidas.

O Capítulo 6 apresenta a evolução da dinâmica inovadora em relação às mudanças nas trajetórias tecnológicas dos SNIs nos três períodos analisados. O objetivo deste capítulo é analisar os diferentes potenciais de desenvolvimento tecnológico ambiental e identificar as assimetrias existentes entre as áreas tecnológicas e os campos científicos. Com esse objetivo, o trabalho investiga a influência das atividades tecnológicas ambientais para dois diferentes grupos de países, a saber, os que englobam o grupo G7 (Estados Unidos, Alemanha, Canadá, França, Itália, Japão e Reino Unido) - países mais economicamente desenvolvidos e os que participam do grupo do BRICs (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), os quais configuram a amostra de países em desenvolvimento. A divisão entre os países busca contribuir e fornecer à literatura de economia de ciência e tecnologia, a articulação teórica entre os diferentes SNI's, paralelamente à temática das inovações ambientais (IAs), identificando suas simetrias de capacidade ambiental dos seus SNIs. De acordo com os resultados, a grande diferença entre os grupos G7 e BRICS refere-se à magnitude das matrizes ambientais, que no caso das matrizes tecnológicas do grupo G7 direcionaram-se mais para subdomínios e áreas próximas aos paradigmas apresentados pelas matrizes globais e campos similares à fronteira tecnológica, como a Biotecnologia. No grupo BRICS, apesar do aumento das interações entre o conhecimento científico e as áreas tecnológicas ao longo do tempo, as

interações concentram-se em campos científicos já dominados pelos países desenvolvidos, como a área Química e de Engenharia.

No Capítulo 7, são tecidas as conclusões do trabalho, ressaltando suas contribuições e os principais resultados revelados pelas abordagens metodológicas quanto aos condicionantes, características e dimensões da capacidade inovadora ambiental dos países. Os possíveis avanços, sugestões de políticas públicas e extensões para a agenda de pesquisa também estão inclusos neste capítulo.

2 ASPECTOS TEÓRICOS DE INOVAÇÃO AMBIENTAL

O presente capítulo tem como importante objetivo evidenciar, em termos teóricos, a existência de uma lacuna de pesquisa que deve ser bem explorada, combinando o tema sobre inovações sob um aspecto amplo e genérico com a questão das inovações ambientais, especialmente aquelas que buscam solucionar e mitigar os impactos ambientais a médio e a longo prazo.

Dessa forma, para o entendimento do desenvolvimento da atividade inovadora ambiental entre os países será necessário esclarecer os conceitos, os determinantes e os principais incentivos, no contexto das firmas, que podem levar à adoção e difusão tecnológica das inovações ambientais (IAs). A elaboração dessa primeira parte também pretende fornecer subsídios para o entendimento e a investigação das interações entre os diferentes Sistemas Nacionais de Inovação (SNIs), mais especificamente, a dimensão sistêmica dos SNIs dos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

2.1 As abordagens schumpeteriana e evolucionária sobre o paradigma tecnoeconômico

Antes da abordagem sobre os aspectos que influenciam e propiciam as atividades inovativas ambientais, é necessário retomar a discussão teórica à luz de seu conceito histórico e tecnológico, assim como contextualizá-la por intermédio das diferentes correntes relacionadas à inovação. O objetivo, portanto, será sintetizar e apresentar as características ligadas aos conceitos de inovação, abordados pelos principais autores na literatura, ressaltando suas principais contribuições. Com os avanços e o desenvolvimento tecnológico ocorrido ao longo do tempo, será possível estabelecer uma comparação entre as mudanças nos paradigmas tecnológicos e as inovações ambientais.

Do ponto de vista da tecnologia e indústria, as grandes transformações nesse campo foram seguidas por mudanças significativas ao longo do tempo no âmbito social, institucional e econômico. A justificativa, para tanto, deve-se ao fato da tecnologia não ser difundida ao acaso, e exige motivações multidisciplinares, principalmente de um arranjo científico e jurídico crível, um ambiente econômico favorável e elementos políticos institucionais adequados ao seu desenvolvimento.

Nesse âmbito, é válido iniciar a discussão sobre o papel da tecnologia e sua dinâmica no contexto econômico com a abordagem sobre a mudança tecnológica. Esta mudança e as

inovações também são fatores defendidos por Schumpeter (1934), como o motor central do desenvolvimento econômico. Segundo o autor, o fenômeno do desenvolvimento pode ser definido, por exemplo, pela introdução de um novo bem, que ainda não tenha sido inserido no mercado. Percebe-se que esta argumentação possibilita fortalecer o discurso em prol de apoios e investimentos no desenvolvimento de novas fontes de insumos ou matéria-prima que possibilitem a melhor eficácia na relação custo *versus* benefício (SCHUMPETER, 1934).

De modo amplo, o desenvolvimento tecnológico, segundo Schumpeter (1934), além de ser atribuído à realização de novas combinações, é um fenômeno que representa a ruptura de antigos e velhos preceitos sobre a inovação e representa mudanças tanto espontâneas quanto descontínuas no comportamento da indústria. Essas mudanças também abrem oportunidades para que haja uma modificação quanto aos gostos e necessidades dos consumidores, garantindo uma alternativa aos produtos finais comercializados (DOSI, 1990).

Assim, não se pode desprezar o esforço e o espaço para mudanças técnicas, tanto do ponto de vista da oferta dos produtos no mercado quanto do comportamento do consumidor, ainda que sejam graduais e lentas. Quando há expansão para novos mercados, a mudança não somente promove a geração de renda e o crescimento econômico, como também o bem-estar na economia como um todo. Em geral, a mudança técnica é uma das forças motoras relevantes ao crescimento econômico e da transformação estrutural das sociedades modernas (DOSI, 1990).

A expansão e a criação de novos mercados enquadram-se na ideia de “destruição criadora”, sustentada pela afirmativa da substituição de antigos produtos e hábitos de consumo que também constituem o processo de desenvolvimento econômico (SCHUMPETER, 1934). Nesse caso, o processo de destruição criadora vem substituir hábitos e produtos antigos por novos, assinalando a adoção dessas novidades pelo consumidor, à medida que surgem inovações. O que pode ser atribuído ao fato das substituições de antigos por novos produtos, equipamentos, serviços e toda a implantação ou comercialização destes seria o resultado do progresso tecnológico, assim como da mudança técnica. Diante disso, a tentativa de inserção da mudança técnica na teoria econômica é intrinsecamente relacionada à inovação das firmas, caracterizando-se também como um fenômeno atrelado a fatores como o dinamismo econômico e o aumento da percepção de fatores tecnológicos direcionados à competitividade e ao aumento da capacidade do conhecimento tácito (DOSI, 1984; 1988).

Nesse sentido, o processo de desenvolvimento de uma inovação abre caminhos diversos para que ocorram grandes mudanças em diversos setores de atividades econômicas, que vão desde as inovações mais radicais², por exemplo, a substituição de tecnologias antigas e onerosas ao meio ambiente por uma de menor impacto ambiental, ou inovações de menor intensidade, como as incrementais. De modo geral, as mudanças, tanto na forma de produzir um novo produto ou processo são dependentes de trajetórias pré-estabelecidas, também chamadas de *path-dependence* (ARTHUR, 1989). A definição de *path-dependence* estabelece que haja uma série de escolhas econômicas, além de uma combinação de novas ideias que está condicionada às escolhas anteriores.

A inovação, por si só, é considerada um fator sistêmico, isto é, não é produzida apenas por um efeito isolado. Existe um conjunto de fatores econômicos e tecnológicos interdependentes que dão origem ao ‘trancamento’³(efeito *lock-in*), também conhecidos como efeitos de captura dos fatores determinantes das trajetórias tecnológicas. A trajetória, porém, pode ficar bloqueada quando acontecimentos históricos conduzem a economia às situações de restrição, geralmente limitadas por determinadas tecnologias tão inferiores quanto às atuais⁴. O grande desafio, nesse caso, se concentra na identificação das tendências das trajetórias tecnológicas pré-estabelecidas. Em outras palavras, como garantir que a influência de eventos históricos passados possam realmente contribuir, acelerar e exercer grande influência sobre as inovações recentes, permitindo também, o aprendizado e desenvolvimento tecnológico futuro.

Em decorrência, a abordagem a respeito da inovação difundida por Schumpeter possibilita uma nova corrente na qual os autores, conhecidos como neo-schumpeterianos ou evolucionários, defendem a ideia da mudança e transformação das estruturas produtivas (NELSON; WINTER, 1982; FREEMAN; PEREZ, 1988; DOSI, 1984; FREEMAN; SOETE,

² As inovações radicais, geralmente, são desafiadas a substituir velhos paradigmas (rompendo as trajetórias existentes) e, gradualmente substituirão, embora ambos pudessem permanecer durante muito tempo. O fato é que as inovações radicais dependem de novos conhecimentos científicos e constituem a abertura de novas oportunidades tecnológicas e econômicas. Contudo, não é possível prever quando as inovações radicais passam a existir e como elas surgem para substituir o antigo regime. É possível, nesse caso, induzir alguns avanços e fomentar algumas condições para que os avanços tecnológicos guiem a difusão de inovações radicais e a evolução de grandes sistemas tecnológicos (KEMP, 1994).

³ O termo ‘trancamento’ é utilizado por Diniz *et al* (2006).

⁴ O efeito *lock in* também pode se referir a elevados custos de introdução à uma nova tecnologia porque a tecnologia a ser substituída está indiretamente relacionada às anteriores e aos seus procedimentos. Como consequência, o efeito cria sérios obstáculos para a introdução de melhores tecnologias no futuro. Contudo, se o efeito *lock in* resistir às mudanças, a inovação não é, aparentemente, tão boa para justificar os custos de transação da mudança (PIETERS, 2012).

2008). A inovação, de acordo com a corrente evolucionária⁵, é importante não somente para o estímulo e a sustentação da taxa de crescimento econômico dos países, mas também possibilita a mudança em direção ao avanço econômico e ao aumento da qualidade de vida (FREEMAN; SOETE, 2008).

Ao fornecer um quadro teórico dedicado à análise da evolução tecnológica e dinâmica industrial, a economia evolucionária traz consigo contribuições para uma melhor compreensão do processo de inovação ambiental dentro da perspectiva da dinâmica industrial. A vertente evolucionária ressalta a endogeneidade do processo inovador, fomenta a maior interação entre redes de atores (agentes) e instituições, além do aumento do fluxo de informações (COSTANTINI; MAZZANTI, 2013).

A síntese a respeito do pensamento da corrente evolucionária em direção a um conjunto de soluções que podem minimizar os problemas técnico-econômicos parece repousar em uma nova concepção de paradigma tecnológico. Este paradigma pode ser entendido como um conjunto de conhecimentos que orienta a investigação sobre determinado problema tecnológico. Este conceito engloba os objetivos a serem alcançados, os instrumentos a serem utilizados e todo um processo, cujo padrão de soluções tecnoeconômicas baseia-se nas áreas de ciência e tecnologia (DOSI, 1988).

Da mesma forma, os paradigmas tendem a funcionar como verdadeiros guias do progresso técnico⁶, traçando oportunidades a serem alcançadas, permitindo, nesse caso, ampliar as possibilidades de desenvolvimento tecnológico ou, muitas vezes, exibir aquelas que devem ser abandonadas. Especialmente, os paradigmas possuem diferentes perspectivas a níveis setoriais e, principalmente industriais, as quais definem e abrem espaço às novas oportunidades tecnológicas e outros procedimentos (DOSI, 1988).

A diversidade de inovações expostas a seguir (QUADRO 1) reflete não somente relevantes inovações globais, mas também os eventos históricos que possibilitaram o crescimento econômico e fortaleceram as inovações como motoras do desenvolvimento tecnológico. No Quadro 1, observam-se diversas características dos sucessivos paradigmas tecnoeconômicos a

⁵ As teorias neoschumpeterianas se diferenciam das teorias neoclássicas, assim como das teorias da organização industrial por não levarem em consideração pressupostos básicos do pensamento econômico tradicional e inserem novas hipóteses (TIGRE, 1998).

⁶ O progresso técnico é uma das maiores causas do crescimento econômico. Como uma ferramenta de análise econômica, sua concepção deriva da necessidade de se explicar mudanças na função de produção e é um dos fatores que mais contribuem ao crescimento econômico (JOHNSTON, 1966).

partir da Revolução Industrial. Cada era, representada na coluna Onda de Kondratief, possui um agrupamento de fatores específicos que, de alguma forma, contribuíram para que houvesse o crescimento e desenvolvimento industrial nos dias atuais. Os ciclos de desenvolvimento são caracterizados por mudanças específicas de paradigma tecnológico. Essas inovações representaram em diferentes épocas um papel estratégico no âmbito das transformações tecnológicas e econômicas em todo o mundo.

QUADRO 1 – As ondas sucessivas de progresso técnico

Ondas ou ciclos longos			Principais aspectos da infraestrutura dominante		
Períodos aproximados	Ondas de Kondratief [1]	Ciência, tecnologia, ensino e treinamento	Transportes e comunicações	<u>Fontes de energia</u>	Fatores-chave universais e de baixo custo
Primeira (1780-1840)	Revolução Industrial: produção em fábricas de têxteis	Aprendizado no trabalho, aprender fazendo, escolas de dissidentes religiosos e sociedades científicas	Canais, estradas carroçáveis	<u>Energia Hidráulica</u>	Algodão
Segunda (1840-1890)	Era da energia a vapor e das ferrovias	Profissionais de Engenharia civil e Mecânica, institutos de tecnologia, massificação do ensino primário	Ferrovias (trilhas de ferro), telégrafo	<u>Máquinas a vapor</u>	Carvão, ferro
Terceira (1890-1940)	Era da eletricidade e da siderurgia	Laboratórios industriais de P&D, laboratórios nacionais Química e Eletricidade, laboratórios de padronização industrial	Ferrovias (trilhas de aço), telefone	<u>Eletricidade</u>	Aço
Quarta (1940-1990)	Era da produção em massa ("Fordismo") de automóveis e de materiais sintéticos	P&D governamental e industrial em larga escala, massificação do ensino superior	Auto-estradas, rádio e TV, linhas aéreas	<u>Petróleo</u>	Petróleo, plásticos
Quinta (1990-?)	Era da microeletrônica e das redes de computadores	Redes de dados, redes globais de P&D, treinamento e educação continuados	Canais de informação, redes digitais	<u>Gás/Petróleo</u>	Microeletrônica

Fonte: Freeman e Soete (2008).

Embora não seja enfatizada no Quadro 1, a importância da estrutura institucional presente nas respectivas épocas deve ser levada em consideração, pois mudanças institucionais significativas foram observadas nas áreas jurídica, financeira e política, de maneira que permitiram o desenvolvimento e o avanço do crescimento industrial observados nos dias de hoje (TIGRE, 2006). Freeman e Soete (2008) argumentam que cada uma das revoluções tecnológicas foi baseada em agrupamentos ou *clusters* de inovações, que envolvem tanto inovações incrementais (pequenas melhorias) quanto maiores mudanças e descontinuidades

tecnológicas (inovações radicais)⁷. É oportuno ressaltar que os exemplos destacados no Quadro 1 envolvem apenas uma pequena parcela das principais inovações já desenvolvidas na história recente. No entanto, a partir destes exemplos citados, é possível evidenciar os principais fatos concernentes ao desenvolvimento tecnológico mundial.

A propósito, a dificuldade em se estabelecer e identificar as etapas e as mudanças estabelecidas pelos paradigmas tecnológicos provoca incertezas, criando, de certo modo, um processo de “seleção natural” entre a variedade de oportunidades tecnológicas. Seria exatamente nesse ponto que o processo de seleção poderia estabelecer prioridades e metas distintas aos objetivos, no intuito de promover outros tipos de inovação. A contextualização da corrente evolucionária em direção à abertura de novos mercados e inovações se caracteriza de tal forma que os resultados das interações entre os agentes e atores propiciam o processo de difusão das inovações. Nesse ponto de vista, as mudanças ocasionadas pelo fomento de políticas públicas⁸ em benefício da ciência e tecnologia podem conduzir a uma trajetória tecnológica ambientalmente sustentável⁹. O ponto central é que parte da pesquisa e desenvolvimento (P&D) deverá ser assegurada para os estudos em relação aos problemas ambientais (FREEMAN; SOETE, 2008).

Com isso, espera-se que a adoção de novos procedimentos, o desenvolvimento de tecnologias limpas e a maior eficiência na questão entre os insumos e produtos sejam metas a serem atingidas. Para tanto, as tecnologias atuais e que sejam poluentes, além dos fatores inibidores (e.g. custos, riscos e incertezas) aos benefícios do progresso tecnológico sustentável, são apenas alguns dos obstáculos a serem ultrapassados pelas novas trajetórias. A emergência de novos paradigmas exige que, a longo prazo, seja possível criar e trazer tecnologias mais radicais que avancem tanto no ponto de vista de mitigação dos impactos ambientais e no âmbito econômico. Seria justamente essa lacuna entre a dimensão e a criação de um novo

⁷ As inovações radicais além de fornecer as bases para a formação de um variado conjunto de oportunidades tecnológicas permitem criar condições de apropriabilidade das inovações ao longo das etapas dos paradigmas tecnológicos (ALBUQUERQUE, 2009). Tais condições são caracterizadas pelas condições de difusão das inovações, isto é, quanto maior for a condição de apropriabilidade de uma inovação, maior será a dificuldade de imitá-la.

⁸ Sugere-se que políticas públicas viabilizem uma maior articulação com determinadas medidas regulatórias, como, por exemplo, incentivos a melhoria da qualidade dos produtos inseridos no mercado, o controle de poluentes pelas indústrias, e outros processos que apoiem iniciativas descentralizadas de inovação e P&D.

⁹ A discussão sobre sustentabilidade inserida no contexto científico e tecnológico será mais bem discutida nos itens a seguir. Contudo, a expressão utilizada até o momento refere-se, em síntese, ao uso e promoção de tecnologias capazes de promover a eficiência no uso de recursos e insumos no processo produtivo, preservando desse modo o meio ambiente (KEMP, 1994).

paradigma tecnoeconômico que abrirá espaço para as chamadas “janelas de oportunidades” e possibilitará também o processo de *catching up* dos países em desenvolvimento.

Além disso, a teoria econômica e as mudanças em relação ao papel do progresso técnico e crescimento econômico vêm contribuindo para descobertas e abrindo novos caminhos rumo à constituição de novos paradigmas tecnológicos. Apesar dos avanços ocorridos nos ciclos longos anteriores e a constante busca pelos grandes avanços tecnológicos, o debate entre a necessidade de se promover novos paradigmas tecnológicos está longe de ser esgotado. Dessa forma, as questões poderiam ser pautadas com maior ênfase na concepção e dimensão de um novo paradigma tecnoeconômico do ambiente, que seja capaz de mitigar os impactos ambientais, tendo como base as trajetórias tecnológicas anteriores, sobretudo com tecnologias mais eficientes ambientalmente. As transformações no paradigma tecnoeconômico englobam inovações não somente com cunho tecnológico, mas também àquelas referentes ao tecido econômico e social onde se incluem (TIGRE, 2006). Assim, devem ser levadas em consideração as mudanças sociais e institucionais pertinentes a cada dinâmica econômica das nações, além da adaptação e do desenvolvimento científico das economias, principalmente dos países em desenvolvimento.

2.2 Inovação ambiental e a complexidade de sua definição

A presente seção pretende definir o conceito de inovação ambiental e, por intermédio da literatura empírica da área, explicitar as principais questões inerentes ao tema. Como observado anteriormente, ao apresentar brevemente um quadro teórico sobre as evoluções tecnológicas ocorridas ao longo do tempo, será possível caracterizar e compreender o processo de difusão da inovação ambiental.

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 (TGCII, 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 sustentável¹⁰, 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 *et al.*, 2014), permitindo que diversos significados sejam incorporados ao termo tecnológico ambiental.

Nesse contexto, é fácil encontrar vocábulos semelhantes às inovações ambientais, como por exemplo: eco inovações, eco tecnologias, tecnologias ambientalmente amigáveis, tecnologias sustentáveis, tecnologias verdes, entre outras. Estes termos, embora apresentem características específicas, são bastante utilizados como sinônimos (CARRILLO-HERMOSILLA *et al.*, 2010). Especificamente, as eco inovações podem ser definidas como sistemas de inovação direcionados ao desenvolvimento sustentável, nos quais são desenvolvidos novos produtos e processos que contribuem para a redução de encargos ambientais e/ou objetivos ambientais específicos (RENNINGS, 2000; FUSSLER; JAMES, 1997).

Rennings (2000) ainda ressalta que as eco inovações 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

¹⁰ 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).

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.

A questão que se levanta é a razão de tantas distinções do significado das inovações ambientais. Jabbour (2010) alerta para o fato da imprecisão e duplo entendimento de tantas terminologias na temática em pauta. Tal incompreensão quanto aos termos ou à existência de lacunas quanto ao seu posicionamento conceitual pode dificultar a sua sistematização e gerar discordâncias sobre as atividades relacionadas ao desenvolvimento, adoção e transferência de tecnologias 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 nesta tese 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 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).

Ademais, as inovações ambientais podem ser caracterizadas em três tipos: as inovações de produto, as inovações de processo e as inovações organizacionais (como os sistemas de gestão ambiental (SGA)) (OLTRA, 2008). Para as inovações de produto e de processo, existem outras classificações mais específicas e que orientam as inovações ambientais de acordo com a sua finalidade e peculiaridade. Rennings *et al.* (2006) discriminam as inovações ambientais em dois tipos: as tecnologias *end of pipe*, denominadas como fim de linha e as inovações em tecnologias de produção mais limpas (*cleaner production*). As tecnologias *end of pipe* têm como objetivo tratar a poluição decorrente de um processo produtivo, e para essa finalidade conta com a incorporação de novos equipamentos, peças e instalações nos locais de descarga/saída dos poluentes (BARBIERI, 2004). Como exemplos dessas inovações, tem-se a rede de tratamento de resíduos e água e os redutores de ruído sonoro e equipamentos que diminuem a emissão de gases poluentes na atmosfera. Em relação às tecnologias de produção mais limpa, estão a reutilização e a reciclagem de materiais, assim como o uso de processos produtivos que previnem a geração de resíduos e utilizam eficientemente a matéria-prima, a energia e a água.

Da mesma forma, Oltra (2008) afirma que geralmente as tecnologias de produção mais limpas são mais vantajosas do que as tecnologias *end-of-pipe*, tanto por motivos econômicos quanto

por razões ambientais, principalmente considerando um horizonte a longo prazo. A literatura sobre o assunto, principalmente no que se refere aos dois tipos de tecnologia, revela que as normas e certificações ambientais tendem a incentivar o uso de tecnologias *end-of-pipe*, e que são dominantes em países da OCDE. Ademais, as mudanças em direção às tecnologias limpas devem ser mais incentivadas a médio e longo prazo (FRONDEL *et al.*, 2007). Novamente, entre os elementos que incentivam a criação e a difusão das inovações ambientais, estão o aumento de investimentos nas atividades de P&D direcionados aos interesses tecnológicos e às pressões e soluções internas por parte das firmas quanto aos aspectos ambientais (LUSTOSA; YOUNG 2002).

Entretanto, se por um lado o crescimento econômico pode aumentar o bem-estar, por outro envolve diversos custos envolvidos nesse processo. A disposição das empresas para criar tecnologias ambientais varia de acordo com seu tamanho e pelo seu setor. No caso das tecnologias limpas, geralmente, o desenvolvimento de uma inovação para o próprio uso da firma não é lucrativo devido aos grandes custos envolvidos como, por exemplo, instalações de equipamentos redutores de poluição e gerenciamento de resíduos (KEMP; SOETE, 1992). Nesse caso, a decisão e o incentivo para a produção, não somente das tecnologias limpas, mas de outras tecnologias ambientais, compreendem grandes dispêndios e dependem direta e indiretamente da regulamentação ambiental (KEMP; SOETE, 1990).

De qualquer modo, a complexidade e a influência das regulamentações ambientais sobre as firmas podem inibir (devido o aumento de custos e determinações normativas) e, ao mesmo tempo, incentivar a capacidade de inovação ambiental (novas oportunidades às firmas)¹¹(LUSTOSA; YOUNG 2002). Nesse sentido, estudos direcionados aos fatores determinantes ambientais podem auxiliar a elaboração de regulamentações que induzam o desenvolvimento de tecnologias limpas.

A seguir, serão examinados o papel das externalidades e como elas podem influenciar o processo inovativo ambiental, destacando sua atribuição em relação às rápidas mudanças tecnológicas no âmbito da firma.

¹¹ Os impactos das atividades econômicas sobre o meio ambiente, também identificados como externalidades negativas, acabam influenciando prejudicialmente a qualidade de vida atual e, principalmente, em longo prazo (DALY; FARLEY, 2004). O principal problema que deve ser enfrentado é de que a poluição gera externalidades negativas, incorrendo em custos para as firmas. Por outro lado, esses custos quando internalizados com impostos ou leis ambientais são capazes de fazer com que as firmas invistam nas inovações ambientais, proporcionando melhorias tecnológicas e, assim cumprindo também a legislação e política ambiental vigente (JAFFE *et al.*, 2005).

2.3 Externalidades sobre a firma e seu papel como determinante ambiental

Vários estudos que abordam a inovação ambiental e seus determinantes levam em consideração as externalidades e seus impactos adversos e, principalmente, o fator indutor (*driver*) exercido pelas regulações e pelos instrumentos econômicos adotados pelos governos (CRESPI, 2013; OLTRA, 2008; CONCEIÇÃO; KAUL, 2012). Em geral, as pesquisas empíricas procuram identificar quais os efeitos das políticas e incentivos aos determinantes da inovação ambiental por intermédio de diferentes instrumentos. Ressalta-se que a finalidade desta seção não é esgotar o assunto a respeito das políticas ambientais, dos instrumentos e de medidas econômicas adotadas nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, porém confirmar o quão importante é o papel governamental em relação ao incentivo das inovações ambientais através dos mecanismos disponíveis.

Nesse ponto, é importante esclarecer o porquê dos *drivers* ambientais serem geralmente relacionados aos problemas de externalidades. As externalidades¹² ambientais, de modo geral, podem ser caracterizadas como uma forma de falha de mercado que surge devido ao uso de recursos ambientais (tais como água, ar e terra) não serem apropriadamente precificados (JANSEN; KECK, 2012). As externalidades acabam fazendo com que o mercado utilize os recursos de maneira ineficiente.

Em geral, há dois tipos de externalidades: aquelas que ocorrem quando se consome um bem e aquelas que ocorrem quando se produz um bem. Dependendo do impacto causado, as externalidades podem ser positivas ou negativas. Positivas são aquelas que geram benefícios a terceiros, como a educação, pois quanto maior for a educação de uma nação, mais instruída ela será (ANDRADE, 2005). Quanto às externalidades negativas, um bom exemplo seria o da fábrica produtora de alumínio, pois se sabe que os dejetos por ela eliminados, poluem rios e lagos, e contribuem para o aumento dos problemas ambientais. Ou seja, os efeitos negativos sobre terceiros não são refletidos no preço do alumínio sem a intervenção governamental (JANSEN; KECK, 2012). A poluição é denominada como uma externalidade negativa porque impõe custos sobre a sociedade, sendo externa ao produtor e ao consumidor do produto, caso não haja regulação (GOODSTEIN; POLASKY, 2014).

¹²As externalidades existem quando as atividades de um grupo (consumidores ou ofertantes) influenciam o bem-estar de outro grupo (consumidores ou ofertantes) sem a realização de qualquer pagamento ou compensação.

Do ponto de vista econômico, o mercado gera a poluição porque os insumos naturais para a produção de bens e serviços, como, por exemplo, a água, não é adequadamente precificada (GOODSTEIN; POLASKY, 2014). Isso ocorre devido à ausência de uma regulação do governo cujos custos externos são impostos à sociedade¹³. Em suma, o objetivo para a explicação das externalidades e dos custos sociais envolvidos é confirmar a importância da intervenção governamental para solucionar falhas de mercado e, com isso, obter resultados mais benéficos, igualitários e amplos. A amplitude pode ser estabelecida pelo caráter das externalidades que é definido como local ou global, tanto no caso de consumo e na produção de externalidades¹⁴.

Outra característica que também está intrinsecamente relacionada às inovações ambientais é denominada de problema da dupla externalidade. Este problema tende a causar uma perda de incentivos privados, levando as firmas a investirem menos em P&D ambiental (OLTRA, 2008; BEISE; REINNING, 2005). Essa externalidade confirma também a necessidade da inclusão de instrumentos políticos bem como a necessidade de efeitos regulatórios, pois somente a criação de mercados competitivos não seria capaz de corrigir essa falha de mercado. Por outro lado, os efeitos positivos criados excedem o lucro direto, surgindo assim impactos para a firma em diferentes áreas que não são completamente apropriadas pela empresa que financiou a P&D (BEISE; REINNING, 2005; COPENHAGEN ECONOMICS, 2010; OLTRA, 2008).

Sendo assim, observa-se que os investimentos em P&D das firmas não são suficientes quando comparados aos ganhos sociais que elas criam. Isto é, o benefício do impacto das inovações ambientais faz com que sua difusão seja socialmente desejável, ocorrendo *spillovers* positivos e uma quantidade de custos externos menores em relação ao concorrente, na fase inicial (BEISE e REINNING, 2005). Não obstante, isso provavelmente criará um duplo obstáculo, ou falha de mercado, pois o retorno privado do investimento realizado em P&D pelas firmas

¹³ Como exemplo de custos sociais promovidos pelos efeitos das externalidades está a produção de energia elétrica a partir das usinas de carvão nos Estados Unidos, que emite uma variedade de poluentes para a atmosfera, e que em geral, levam milhares de pessoas morrerem prematuramente, em decorrência de doenças respiratórias como a asma, além de vários dias de trabalhos perdidos. A estimativa para a sociedade é de US\$ 0,04 por KWh de energia elétrica produzida, ou mais. Nesse caso, se as empresas de energia forem obrigadas a compensar as famílias das vítimas pelos danos que causaram, isto é, “internalizarem” as externalidades, as empresas estariam pagando para a qualidade do ar que foi “consumida”. De certa forma, além do preço do ar consumir aumentar os custos de produção da empresa, o ar deixaria de ter o seu preço “subestimado”. (GOODSTEIN; POLASKY, 2014).

¹⁴ Como exemplo, supõe-se que as emissões de gases poluentes de um carro criam externalidades globais, enquanto que a produção de resíduos domésticos pode ser caracterizada como uma externalidade de natureza mais local.

para as tecnologias ambientais torna-se menor do que o seu retorno social. A sensação das empresas é de que elas estariam produzindo um bem público, pelo menos até certo ponto, dependendo da característica do bem¹⁵ (BEISE; REININGS, 2005).

As externalidades podem provocar uma alocação ineficiente de produtos e recursos, fazendo com que o governo assuma uma posição e atinja diretamente o comportamento do mercado. Dado um conjunto de condições externas como atributos geográficos, preferências do consumidor e estruturas de produção intrínsecas, o governo pode optar por uma solução ao problema da externalidade, criando instrumentos que possibilitem a “maximização do bem-estar”. Tais instrumentos geralmente são aludidos como ótimos *drivers* de políticas ambientais.

Representando um desses instrumentos, a regulação pode solucionar o problema da externalidade, fazendo com que ela seja obrigatória ou proibindo determinado tipo de conduta do agente privado. Desde os anos 90, vários estudos empíricos procuram identificar fatores determinantes das inovações ambientais, tanto do lado da demanda quanto da oferta (OLTRA, 2008). Não obstante, mesmo que existam algumas controvérsias no efetivo impacto da regulação sobre as inovações ambientais e na maioria dos instrumentos de política, em termos de incentivos, grande parte das pesquisas na área apresenta uma correlação positiva entre inovação ambiental e regulação (LANJOUW; MODY, 1996; BRUNNERMEIER; COHEN, 2003; JAFFE; PALMER, 1997).

Outra possível resposta do governo no sentido de minimizar o impacto das externalidades negativas seria regulamentar o comportamento das firmas por intermédio do imposto de Pigou¹⁶. O respectivo imposto pode ser considerado como um dos preferidos pelos economistas, pois possibilita a redução da poluição com o custo reduzido para a sociedade, e é um dos exemplos mais notórios de instrumentos políticos governamentais (JANSEN; KECK, 2012).

Em geral, os instrumentos governamentais possuem a característica de resolver o problema de maneira menos danosa aos envolvidos. Entretanto, uma das maiores dificuldades em se aplicar o imposto pigouviano, por exemplo, concentra-se no cálculo do imposto, levando-se

¹⁵ Beise e Reinnings (2005) exemplificam o problema da dupla externalidade com o caso da refeição mais saudável (*biological food*). Enquanto este gera benefícios tanto para o usuário (saúde, qualidade, sabor), quanto para o meio ambiente (menos pesticidas), em relação ao consumo de produtos fabricados tradicionalmente.

¹⁶ Os impostos gerados no sentido de corrigir os efeitos das externalidades negativas são chamados de impostos de Pigou, em que faz referência ao grande defensor e economista Arthur Pigou (1877-1959).

em conta sua externalidade negativa (JANSEN; KECK, 2012). Nesse ponto, exige-se amplo conhecimento de todos os custos envolvidos no processo e na produção. A dificuldade sobre a aplicação do imposto pode estar centrada em até que ponto a atenção com a questão ambiental pode ser desejável sob o ponto de vista político. Em outras palavras, a criação de um imposto também levanta outras questões no papel governamental, através da qual também podem encorajar um comportamento favorável ao meio ambiente, por intermédio do uso de subsídios governamentais.

Os problemas destacados anteriormente, em relação à adoção dos instrumentos econômicos, conduzem, muitas vezes, o governo a usar medidas regulatórias que podem levar ao processo de criação de normas voluntárias e/ou obrigatórias, considerando-se também o papel do consumidor em distinguir os produtos que cumprem (ou não) as normas ambientais estabelecidas. Por outro lado, o uso de medidas regulatórias conduz a resultados bastante diferentes, em relação às medidas baseadas somente nos preços (como o de Pigou).

No caso das medidas adotadas relacionadas ao produto, os instrumentos de regulação, geralmente implicam uma série de restrições, que promovem a adoção de certas características pertinentes à mitigação de impactos ambientais. A partir daí, a lógica seria a de que produtos que não fossem compatíveis com as características de mitigação dos impactos ambientais fossem gradativamente desaparecendo do mercado (JANSEN e KECK, 2012). Observa-se nesse caso que medidas de regulação possuem uma tendência mais forte em levar a segmentação do mercado, ao invés de criarem políticas baseadas apenas nos preços.

Cabe ao gestor político (*policy maker*) definir e escolher o conjunto significativo de instrumentos de políticas que possibilitem minimizar os impactos ambientais. Em alguns casos, a introdução de políticas de incentivo com base, por exemplo, em impostos pigouvianos, pode levar a comportamentos benéficos ao meio ambiente por parte das firmas e dos consumidores. Por outro lado, quando somente o governo assume a responsabilidade de proteção ao meio ambiente, pode ser que outras motivações tanto morais quanto sociais sejam deterioradas (TURUGA *et al.*, 2010). Desta forma, é importante que as políticas ambientais tenham um maior peso nos processos decisórios das firmas e, por parte das ações governamentais, são exigidos maiores esforços científicos e tecnológicos para que os padrões ambientais sejam elevados, prevenindo-se assim riscos mais sérios de poluição e de danos ao meio ambiente (FREEMAN; SOETE, 2008).

2.4 A literatura empírica a respeito de determinantes da inovação ambiental

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.

Alguns desses fatores determinantes das inovações ambientais podem ser verificados pelo lado da oferta, como as atividades de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e a exigência do mercado por suprimentos. Um exemplo empírico relacionado à P&D foi estudado por Scott (2003) quando realizou um estudo analisando a P&D ambiental, com base em um questionário de firmas industriais norte americanas que respondem à regulação de emissão de gases poluentes. A pesquisa mostrou que, em média, 24% do P&D industrial realizado pelas firmas está relacionado à melhoria ambiental de produtos e processos. Isso significa dizer que, em geral, os determinantes da inovação ambiental são bastante parecidos com os determinantes da inovação em geral (OLTRA, 2008).

Da mesma forma, Porter (1991) e sua hipótese conhecida como “hipótese de Porter”¹⁷, argumenta que normas ambientais bem elaboradas ajudam e incentivam a inovação, e compensam, mesmo que parcialmente, os custos dos processos de conformidade com quais os produtos estão sujeitos. A hipótese implica que as firmas respondam às regulações por

¹⁷ Para Porter e Van der Linde (1995), os padrões ambientais adequadamente desenvolvidos podem estimular as inovações, diminuir custos e agregar valores, permitindo, portanto, o uso mais eficiente de recursos, além de tornar as empresas mais competitivas.

intermédio de suas inovações, sendo vantajoso às empresas esse tipo de comportamento (PORTER; van der LINDE, 1995).

O que a hipótese de Porter propõe é a relevância da regulação ambiental no fomento à inovação e na geração de produtos ambientais. Neste aspecto, os diversos processos organizacionais e as regulações inerentes às firmas também incentivam as empresas a adotarem práticas, rotinas e a melhor estratégia, especialmente na esfera ambiental. Antonioli *et al.* (2013) verificaram que realmente mudanças organizacionais podem viabilizar a adoção de inovações ambientais, caso sejam coerentes com a hipótese de Porter (1991).

Em relação ao lado da demanda, Rennings (2000) afirma que se as forças de mercado atuam sozinhas, não somente geram incentivos insuficientes à inovação, bem como a disposição dos consumidores em comprar produtos cuja melhoria seja de cunho ambiental baixo. Por outro lado, alguns estudos sobre determinantes das IAs tentam identificar e avaliar os efeitos dos incentivos relacionados ao impacto da demanda de consumidores por esses tipos de produtos. Fatores como a demanda de consumidores, pressão por parte da opinião pública, a questão cultural e comportamental são alguns exemplos de *drivers* das inovações ambientais (FLORIDA, 1996; HORBACH *et al.*, 2014).

No entanto, ainda que haja um aumento quanto à preocupação ambiental por parte dos consumidores e um aumento da demanda por parte dos produtos ambientais, é difícil determinar o que realmente os consumidores valorizam e o que levam em consideração quanto às características ambientais dos produtos (OLTRA, 2008). Além disso, o efeito *demand pull*, comparado com o das inovações não ambientais, é mais impulsionado por políticas ambientais, regulação ou impostos que buscam motivar o consumo. Todavia, esses instrumentos conforme já explicado, buscam *a priori*, adaptar a realidade à difusão e a adoção de tecnologias ambientais, do que propriamente incentivar a atividade inovativa em si (OLTRA, 2008).

Em suma, a literatura indica que as inovações ambientais, assim como os outros tipos de inovações, são orientadas por um conjunto de determinantes, cujas influências são difíceis de serem avaliadas empiricamente, devido ao seu alcance multidirecional. No Quadro 2, são resumidos os determinantes das inovações ambientais explicitados anteriormente.

QUADRO 2 – Principais determinantes das inovações ambientais

Determinantes	Características
Regulação e políticas	Implementação de instrumentos de políticas ambientais: instrumentos regulatórios e econômicos; Existência de regulações ambientais; Projetos de regulamentação, com rigor, flexibilidade e prazo estabelecido.
Lado da oferta	Redução de custos; Melhorias de produtividade ; Inovações organizacionais: sistemas de gestão ambiental; Aumento da responsabilidade pelo produtor; Atividades de P&D; Relações industriais, maior pressão em relação à cadeia de suprimentos e atividades em redes.
Lado da demanda	Conscientização ambiental e preferência do consumidor por produtos mais ecológicos; Aumento na participação do mercado ou abertura de novos segmentos de mercado.

Fonte: OLTRA (2008).

Destarte, observa-se que a principal especificidade das inovações ambientais, além de seu impacto positivo sobre o meio ambiente, refere-se à sua relação com o papel determinante da regulação. O foco dos estudos que buscam analisar a importância dos fatores determinantes da inovação está concentrado mais na concepção e execução de vários instrumentos de política do que exatamente na explicação do processo de inovação em si (OLTRA, 2008). Em outras palavras, as abordagens orientadas para políticas possuem uma representação incompleta do processo de inovação, criando-se um forte viés na análise dos efeitos de determinadas políticas de cunho ambiental.

Como exemplo sobre o estudo do papel das regulações sobre as inovações ambientais, Del Rio *et al.* (2011) a partir das estimações por dados em painel com efeitos fixos e aleatórios para o período entre os anos 2000 a 2006, confirmaram que as regulações ambientais possuem uma grande influência sobre os investimentos das indústrias de transformação espanholas em tecnologias ambientais. O estudo também afirma que o impacto da regulação varia entre os dois tipos de adoções tecnológicas ambientais (tecnologia *end-of-pipe* e tecnologia limpa). A *proxy* utilizada para mensurar a inovação ambiental das indústrias espanholas foi a de

investimentos em tecnologias ambientais, e para captar os efeitos das regulações, utilizou-se o volume de gastos em preservação ambiental.

Do ponto de vista político-governamental, a regulação ambiental é a mais propícia para estimular as inovações tecnológicas ambientais, como no caso da tecnologia *end of pipe* e da produção de tecnologias limpas. Entretanto, existem algumas dificuldades na eficiência do papel da regulação que devem ser salientadas, como o nível ótimo de poluição para que as empresas utilizem determinados tipos de tecnologias e a fiscalização quanto ao cumprimento das leis. Por outro lado, o grande incentivo à geração de tecnologias limpas não deve se restringir às medidas regulatórias, mas também capacitar tecnologicamente os diversos atores e instituições que podem ajudar no desenvolvimento e na competitividade tecnológica ambiental (RENNINGS *et al.*, 2006). Ao invés de um processo autônomo, comparado a uma “caixa-preta”, deve-se ter o entendimento de que o desenvolvimento tecnológico ambiental é o resultado da relação entre diferentes fatores, entre eles, social, político, econômico e cultural (OOSTERHUIS, 2006; EKINS, 2010).

Da mesma forma, com o intuito de analisar o papel da regulação sobre o fomento das tecnologias ambientais, Brunnermeier e Cohen (2003) forneceram algumas evidências sobre quais seriam esses determinantes da inovação. Os autores utilizaram um modelo de dados em painel para investigar como as inovações ambientais aplicadas pelas indústrias de transformação nos EUA respondem às mudanças nos gastos em redução da poluição e da regulamentação governamental, nos anos entre 1983 e 1992. O resultado encontrado pelos autores foi que a inovação ambiental (medida pelo número de patentes ambientais concedidas à indústria) respondeu positivamente aos aumentos dos gastos de redução à poluição de emissão de gases.

Similarmente, Dechezleprêtre *et al.* (2011) afirmam que as regulações ambientais configuram instrumentos eficientes para fomentar a criação de mercados em prol de tecnologias ambientais, por intermédio de incentivos para as firmas de tecnologias limpas. Utilizando-se dados de patentes de 76 países, entre os anos de 1978 a 2005, referentes a 14 áreas tecnológicas ambientais¹⁸, os resultados indicaram que as inovações ambientais são altamente concentradas em países desenvolvidos como Japão, Alemanha e Estados Unidos. Entretanto,

¹⁸ As áreas tecnológicas ambientais analisadas por Dechezleprêtre *et al.* (2011) foram: energias eólica, marinha, elétrica, híbrida, solar, hidroelétrica, isolamento (térmico), aquecimento, geotérmica, biomassa, resíduos sólidos, veículos elétricos, cimentos naturais e captura ou sequestro de carbono.

o desempenho e o esforço tecnológico de alguns países em desenvolvimento como China, Rússia e Brasil não podem ser ignorados (DECHEZLEPRÊTRE *et al.*, 2011).

Ao contrário dos estudos de inovações ambientais por intermédio das patentes, Demirel e Kesidou (2011) pesquisaram informações sobre despesas de proteção ambiental do governo, que englobam 289 empresas do Reino Unido, entre 2005 e 2006. Para a análise das influências de cada uma das inovações, os autores mensuraram por variáveis *dummies*, as tecnologias *end of pipe* e, as tecnologias limpas, além do P&D ambiental das firmas. Este último foi definido como o incentivo necessário para gerar novos produtos e processos cujos resultados são considerados uma inovação tecnológica ambiental. Para a estimação, os autores utilizaram um modelo *tobit* para analisar o impacto ambiental, de acordo com os impostos e as regulamentações ambientais no país. Os resultados mostraram uma melhoria na eficiência das empresas britânicas nos dois anos, quanto à mitigação dos impactos ambientais. Além disso, os autores constataram que no caso das tecnologias fim de linha (*end of pipe*), os incentivos das firmas a inovarem surgem pelas regulamentações (como a de controle de poluentes) e pelas inovações incrementais dos equipamentos já existentes. Já as tecnologias limpas são incentivadas pela melhoria na eficiência, com equipamentos mais econômicos (que utilizam menos recursos e são menos poluentes). Por último, o P&D ambiental mostrou-se altamente correlacionado às normas ambientais implementadas no Reino Unido, assim como a redução de custos obtida pelas firmas.

Sobre as pesquisas empíricas, particularmente nos países em desenvolvimento, Hopkins e Mehanna (2000) e Bhate (2002) sinalizam que os interesses econômicos estão em primeiro lugar e só depois vem a preocupação ambiental por parte dos consumidores. Além disso, os países em desenvolvimento estariam na fase inicial do consumo chamado “verde”. Os estudos, em geral, sugerem que níveis diferentes de conscientização e de educação ambiental dependem majoritariamente das condições socioeconômicas, bem como do compromisso governamental (HOPKINS e MEHANNA, 2000).

No intuito de identificar-se a influência da inovação ambiental na Argentina, no período entre 1998 e 2001, Albornoz *et al.*, (2009) analisaram as informações de 1.187 empresas e observaram que as de capital estrangeiro são positivamente correlacionadas à adoção de sistemas de gestão ambiental (SGA) implementados nas indústrias de transformação argentina. Além disso, destacou-se que a transferência de tecnologia e os sistemas de gestão dos países desenvolvidos são relevantes aos países em desenvolvimento. O resultado indicou,

sobretudo, que as empresas estrangeiras são mais propensas a instalar algum tipo de sistema de gestão ambiental em relação às empresas argentinas.

Especificamente no Brasil, o papel das firmas em relação às estratégias e aos esforços inovativos são interligados à questão da inserção da firma no âmbito internacional e ao seu tamanho (QUEIROZ e PODCAMENI, 2014). Com base em dados da Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC) para o ano de 2008, Queiroz e Podcameni (2014) analisaram os fatores que induzem as firmas brasileiras a adotarem inovações que mitiguem os impactos ambientais. Os resultados apontaram que elementos representados pela capacidade de geração, difusão e aprendizado de conhecimento estão relacionados às inovações ambientais geradas pelas firmas.

Além disso, o estudo de Queiroz e Podcameni (2014) aponta que o aprendizado e as competências específicas ao fomento das firmas brasileiras na atividade inovativa ambiental dependem, principalmente, de uma combinação de elementos, como a capacidade de absorção e fatores inerentes de cada firma. Nesse sentido, a criação de oportunidades para as firmas brasileiras surgiria à medida que houvesse a difusão do conhecimento tácito, incluindo-se também o incentivo às políticas de apoio ao esforço inovativo das empresas e o fortalecimento de sua cooperação com instituições de pesquisa e universidades, fatores que são fundamentais para a mudança rumo ao paradigma tecnoeconômico ambiental (QUEIROZ; PODCAMENI, 2014).

Os impactos das inovações ambientais sobre as empresas brasileiras foram analisados por Lucchesi (2013), que verificou os efeitos das IAs sobre a mão de obra e sobre o valor adicionado das indústrias de transformação brasileira. O estudo buscou averiguar se as políticas de regulação ambiental possuem influência sobre as firmas brasileiras, quanto à adoção de inovações ambientais e organizacionais. A partir das informações da Pesquisa Industrial Anual (PIA) e da PINTEC, para os anos de 1998 e 2008, observou-se que as empresas de capital estrangeiro possuem maiores chances de adotarem inovações ambientais.

Quanto aos efeitos das inovações ambientais sobre a mão de obra, constatou-se que os empregos “ambientais”, isto é, aqueles provenientes da inclusão de tecnologias ambientais, são executados por profissionais de baixa qualificação, instruídos apenas para exercer aquele tipo de atividade de cunho ambiental. Em suma, o papel das firmas e as oportunidades geradas pelas inovações ambientais vão além da redução das externalidades negativas sobre o meio

ambiente. Os aspectos favoráveis ao desempenho das firmas resultam em um processo inovativo amplo e complexo, cuja meta, além do aumento da participação do mercado e/ou diminuição de custos, envolve grande capacidade de absorção de conhecimento, capital humano qualificado e a difusão de novas tecnologias.

Para Windrum *et al.* (2009), as possibilidades de criação de tecnologias alternativas, isto é, a geração de tecnologias ambientais, podem ser configuradas como “janelas de oportunidade”. Essas janelas seriam originadas através das mudanças das preferências sobre a demanda dos consumidores que levariam em consideração o impacto de seu consumo sobre o meio ambiente. Nesse caso, a demanda do consumidor possui o poder de induzir as firmas a inovar e desenvolver novas concepções tecnológicas que são mais favoráveis à difusão das tecnologias ambientais. A longo prazo, as substituições tecnológicas ocorrem como consequência da interatividade entre firmas e consumidores em seus aprendizados sobre as oportunidades associadas à produção, consumo e impactos ambientais de tecnologias novas e existentes. Um novo paradigma tecnológico envolve muito mais que uma substituição de um conjunto de produtos tecnológicos. Em outras palavras, envolve uma mudança de padrões existentes de demanda e oferta com novos padrões tecnoambientais (WINDRUM *et al.*, 2009).

Um ponto importante a respeito do papel das políticas tecnológicas e/ou ambientais concentra-se na forma sistêmica de políticas direcionadas a determinados setores e áreas tecnológicas. Haščič *et al.* (2010) observaram, a partir da base de dados de patentes ambientais de diversos países, que as questões políticas são fundamentais para determinar tecnologias economicamente competitivas no mercado. Como exemplos de políticas de incentivo destacadas pelos autores estão os investimentos públicos em P&D de energias renováveis e medidas específicas, tais como certificados e tarifas de incentivos (*feed in tariffs*). Alguns países se destacam em diferentes áreas tecnológicas ambientais, como é o caso do Japão e Coréia, particularmente proeminentes em energia solar fotovoltaicas. Destaca-se também o número crescente de países em desenvolvimento que realiza atividades tecnológicas ambientais em diversos setores, como é o caso da China, Índia e África do Sul (HAŠČIČ *et al.*, 2010).

Foxon e Andersen (2009) advertem que um estudo mais aprofundado sobre a dinâmica das inovações ambientais possibilitaria a conjugação entre políticas de mitigação climática e políticas voltadas à área inovativa em geral. A ideia dos autores concentra-se na criação de

um novo paradigma ambiental, baseado na combinação das abordagens de sistemas de inovação e na capacidade da economia evolucionária. Nesse sentido, o processo dinâmico da inovação ambiental envolveria a compreensão dos diferentes estágios de desenvolvimento tecnológico e as suas interações e assimetrias entre os Sistemas Nacionais de Inovação dos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Os esforços quanto à mudança em direção a novos paradigmas, como o ambiental, são bastante divergentes e variam em relação, principalmente, aos seus objetivos políticos e às prioridades quanto aos aspectos ambientais. Com isso, é esperado que os Sistemas Nacionais de Inovação além de fortalecer e aprimorar essas interações entre os agentes e atores (instituições científicas, firmas, centros de pesquisa), contribuam na formação de campos multidisciplinares e possibilitem direcionar políticas tecnológicas que estejam atreladas às questões ambientais. No próximo item, será analisado o papel dos Sistemas Nacionais de Inovação no processo de difusão tecnológica ambiental.

2.5 Sistemas Nacionais de Inovação: desenvolvimento e apoio aos novos desafios ambientais

Por intermédio da contextualização realizada entre o pensamento evolucionário e a sua relação frente às perspectivas de novos paradigmas, foi possível esclarecer o papel das inovações ambientais, paralelamente aos seus principais fatores determinantes. Na presente seção, será apresentada a contextualização e a importância do fortalecimento dos Sistemas Nacionais de Inovação, como um pré-requisito em direção à nova trajetória tecnológica ambiental dos países.

O conceito de 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.

Da mesma forma, a mudança no paradigma tecnológico torna-se fundamental para a busca de inovações, principalmente no desenvolvimento e na rápida difusão de uma ampla gama de tecnologias alternativas. É reconhecida também que a contribuição de um Sistema Nacional de Inovação fortalecido ao crescimento econômico dos países, representa um grande desafio às sociedades modernas, que requerem mais do que inovações tecnológicas. De fato, um dos principais aspectos em relação aos sistemas de inovação é o seu papel crucial no desempenho econômico dos países (SOETE *et. al.*, 2010).

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.

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 partir deste aspecto, a noção de sistemas de inovação também envolve um caráter político muito forte. Os sistemas de inovação oferecem aos *policy makers* um poderoso conjunto de instrumentos que propiciam oportunidades e políticas complementares cujo objetivo seja o desenvolvimento sustentável. Entretanto, uma das questões que serão levantadas e têm possibilitado o redirecionamento da inovação e proporcionado buscas por novas alternativas tecnológicas ambientais, seria em relação ao papel da sociedade como um todo na determinação da mudança tecnológica.

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).

2.6 Considerações Finais

O objetivo da análise deste capítulo, tendo como ponto de partida a corrente evolucionária, foi destacar as perspectivas de novos paradigmas tecnoeconômicos, assim como o entendimento do processo de difusão tecnológica e a abordagem dos fatores indutores da mudança técnica. Do mesmo modo, a partir da abordagem teórica realizada, foi notável a importância do papel da ciência e da mudança técnica na evolução de novas trajetórias tecnológicas e no desenvolvimento econômico ao longo do tempo.

Considerando-se a abordagem teórica investigada sobre a mudança técnica e o processo de difusão das inovações, tornou-se necessária para a análise do processo inovativo ambiental, uma abordagem mais sistêmica, como a dos Sistemas Nacionais de Inovação, levando-se em consideração os principais fatores que propiciam o fomento e a geração das inovações ambientais. Para a contribuição deste entendimento, os Sistemas Nacionais de Inovação abrangem a concepção de uma extensa rede de instituições, incluindo também setores

públicos e privados, cujas atividades levam às modificações, à disseminação e às importações de novas tecnologias (FREEMAN, 1987). Dessa maneira, os Sistemas de Inovação caracterizam o alicerce necessário para que se faça a propícia conexão entre a concepção microeconômica (âmbito das firmas, como as relações entre externalidades) para o ambiente macro das inovações (países). Esta relação também é de suma importância para a compreensão da dinâmica do desenvolvimento da C&T, bem como o modo particular com que o crescimento econômico e os sistemas inovativos podem diferenciar-se entre as nações.

Ainda que as perspectivas e os cenários que englobam o desenvolvimento das tecnologias alternativas pareçam distantes de um consenso e de integração frente às políticas adotadas por diferentes países, principalmente daqueles em desenvolvimento, a construção e o desenvolvimento de novos paradigmas tecnoeconômicos devem ser incentivados. O que deve ser levado em consideração são as assimetrias e a heterogeneidade presente entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento, além, é claro, das diversidades por conta dos vários estágios e fases de transformações, em relação aos diferentes graus de maturidade dos respectivos Sistemas Nacionais de Inovação. A perspectiva a respeito dos diversos graus de maturidade entre os SNIs, por intermédio das três etapas metodológicas, será examinar o grau de especificidade dos sistemas de inovação, e comparar as características presentes nos heterogêneos SNIs. Além disso, o exercício empírico aplicado nesta tese permitirá identificar interações, similaridades e diferenças das heterogêneas capacidades inovativas entre os sistemas de inovação, envolvendo também o contexto ambiental.

Os capítulos a seguir terão como enfoque interrelacionar e facilitar o entendimento entre os diversos elementos constituintes dos SNI de diversos países. Em conjunto, a inclusão de variáveis ligadas aos aspectos tecnológicos, científicos e ambientais permitirá investigar com maior profundidade os diferenciais e as assimetrias existentes entre os SNI dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, principalmente quando o debate envolve a capacidade inovativa de um determinado país e o seu potencial para o desenvolvimento de tecnologias ambientais.

3 CARACTERÍSTICAS E DIMENSÕES DAS PATENTES AMBIENTAIS

O presente capítulo tem como objetivo apresentar a construção da base de dados utilizada na tese. Para tanto, é necessário ressaltar que a principal *proxy* usada para captar as influências das inovações ambientais entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento, são as patentes ambientais. O uso das patentes ambientais está pautado em uma grande diversidade de pesquisas empíricas que utilizam as mesmas como *proxy* para mensurar a capacidade tecnológica dos países, assim como para analisar o desenvolvimento da atividade inovativa ambiental nos Sistemas Nacionais de Inovação. Neste caso, ressalta-se que, por meio das pesquisas empíricas, será possível analisar, especificar e evidenciar vários atributos referentes aos níveis tecnológicos dos países (ARCHIBUGI; PIANTA, 1996). Além disso, a originalidade e a riqueza de informações da base de dados permitirão analisar as principais classes tecnológicas ambientais. A investigação no âmbito global, nacional e temporal permitirá avaliar a dinâmica das tecnologias ambientais em direção a novos paradigmas tecnológicos ambientais. A partir da análise empírica e exploratória sobre as patentes ambientais e suas múltiplas dimensões que caracterizam os diferentes SNIs, será possível aprofundar e verificar as relações dinâmicas entre os países.

Este capítulo é composto por cinco partes, além desta introdução. A primeira parte procura explicitar a literatura e as abordagens empíricas que respaldam o uso das patentes ambientais como *proxy* para avaliar a dimensão tecnológica ambiental dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. A segunda parte identifica as classes tecnológicas ambientais para a elaboração da base de dados e explica os procedimentos adotados para o reconhecimento das patentes de acordo com sua classe tecnológica ambiental. Em seguida, serão feitas as análises preliminares da base de dados das patentes, isto é, são exploradas as especificidades e a evolução das classes tecnológicas ambientais de acordo com o período em estudo (1990-2010). Na quarta parte, são abordadas e esclarecidas as demais dimensões analisadas nas abordagens metodológicas, a saber, as variáveis relacionadas aos campos científico, tecnológico, econômico e de infraestrutura. Por fim, serão tecidas as considerações finais deste capítulo.

3.1 Literatura empírica sobre inovações ambientais a partir das *proxies* de patentes

Nos últimos anos, houve um aumento no número de estudos¹⁹ que utilizam os dados de patentes para analisar a inovação, a difusão tecnológica internacional e, particularmente, no que tange às áreas de inovação ambiental (DECHEZLEPRÊTRE *et al.* 2011). Para Griliches (1990), considerado um trabalho chave quando se trata da utilização das patentes como *proxy* para inovação tecnológica, os esforços para encontrar a medida ideal de inovação podem ser caracterizados como uma tentativa de criar um indicador capaz de reproduzir todo o esforço empreendido durante o processo de inovação²⁰. Popp (2006), por exemplo, utiliza dados de patentes do Japão, dos EUA e da Alemanha para analisar a inovação e a difusão dos equipamentos de controle de poluição do ar para usinas de energia movidas a carvão. O autor também analisa diretamente as relações entre regulação e políticas ambientais, e conclui observando a relação estreita e positiva entre as imposições regulatórias quanto às inovações ambientais. Da mesma forma, Johnstone *et al.* (2010) examinam os fatores políticos e de mercado no desenvolvimento de tecnologias de energias renováveis nos países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD). O trabalho destaca o fomento pela criação de novos produtos e processos relacionados às tecnologias ambientais que afetam positivamente o comportamento dinâmico dos países envolvidos.

Uma das grandes vantagens quanto à análise das patentes ambientais é a comparabilidade entre as nações. Em alguns países emergentes, como é o caso do Brasil, da China, da Índia e da África do Sul, é possível observar um crescimento significativo de tecnologias ambientais, nas últimas décadas (HAŠČIČ *et al.*, 2010; LANJOUW; MODY, 1996). Outra grande vantagem da utilização das patentes refere-se ao resultado direto de um processo inventivo e, mais especificamente, das inovações que poderão ter impacto comercial. Tais inovações configuram-se também como um indicador particularmente apropriado para captar a dimensão competitiva, assim como de mudança tecnológica, fundamental no processo de atividade inovativa ambiental. Além disso, a medida de inovação representada pelas patentes ambientais pode facilitar o alcance dos objetivos ambientais daquela patente, sem que haja elevados gastos, como por exemplo, a diminuição dos custos com a redução da poluição do ar. O entendimento de que a inovação tecnológica pode realizar, atingir as finalidades dos

¹⁹ Podem ser citados alguns autores que utilizaram as patentes como *proxy* para a atividade inovativa em geral: Acs e Audretsch (1989); Gonçalves e Almeida (2009); Paci e Usai (2007); Sun (2000); Trajtenberg (1990).

²⁰ As patentes também podem ser comparadas aos gastos com Pesquisa e Desenvolvimento, isto é, ambas configuram um indicador de resultado (*output*), e mensuram também a atividade de inovação produtiva (JOHNSTONE *et al.*, 2008).

objetivos ambientais envolvem um complexo debate político (JOHNSTONE *et al.*, 2008), tanto na pasta do Ministério da Ciência e Tecnologia, quanto na pasta do Ministério do Meio Ambiente. A escassez de estudos empíricos que utilizam as patentes ambientais com cobertura internacional fragiliza trabalhos comparativos adequados à análise do processo inovativo e das pesquisas relacionadas aos SNI's.

A despeito disso, as desvantagens da utilização das patentes como *proxy* de inovação referem-se ao fato de que nem todas as patentes depositadas serão comercializadas para o desenvolvimento de novas tecnologias. Especificamente, somente uma parte limitada das inovações elaboradas será, de fato, patenteada (ARCHIBUGI; PIANTA, 1996). Esta observação remete-se às imperfeições das medidas de inovação, pois muitas vezes as patentes seriam depositadas somente para proteger as invenções, chamadas de segredos industriais. Além disso, variáveis como investimentos em proteção ambiental, investimentos em P&D ambiental e em tecnologias alternativas são utilizadas como *proxy* da mudança tecnológica ambiental (CRESPI, 2013). No entanto, mensurar a mudança tecnológica é uma tarefa particularmente difícil e complexa, tendo em vista que a inovação envolve atividades bastante intrínsecas, relacionadas ao processo de P&D, atividades de ciência e engenharia, o que torna as medidas de inovação um processo delicado e não facilmente mensurável (CRESPI, 2013).

Outro ponto importante é que nem todas as patentes podem ser comercializadas e adotadas, mas, quando depositadas, asseguram-se as expectativas do depositante ou do inventor quanto a sua qualidade (JOHNSTONE *et al.*, 2008) e todos os esforços, custos e investimentos empreendidos durante o processo inovativo. Por razões legais, as patentes são sistematicamente registradas por órgãos governamentais e constituem uma fonte única de informação sobre a inovação industrial e também sobre as atividades inovativas dos países. Hašičič *et al.* (2010) ressaltam que as informações sobre patentes têm sido amplamente utilizadas como *proxy* de medida de atividade tecnológica, principalmente quando são classificadas em campos tecnológicos específicos²¹, como é o caso das patentes ambientais. A identificação das inovações ambientais pode ser atribuída pelo uso dos dados de patentes devido à natureza dos sistemas de classificação de propriedade intelectual. Apesar de existirem outros sistemas de classificação²², a maioria dos pesquisadores utiliza o sistema de

²¹ A classificação e o detalhamento de tecnologias ambientais permitem efetuar distinções bem específicas sobre as tecnologias, como por exemplo, entre os equipamentos de controle de poluição de ar destinados a mitigação das emissões NOx e os equipamentos relacionados ao controle de emissões de SO₂ (POPP, 2006).

²² Constantini *et al.* (2013) elaboraram uma base de dados de patentes somente na área de biocombustíveis baseados em palavras-chave inter-relacionadas à área tecnológica, ao invés da utilização dos códigos de classes

Classificação Internacional de Patentes (IPC) quando buscam pelas patentes ambientais. Esse sistema de classificação envolve a hierarquia de códigos, estruturada em diferentes níveis, conforme será visto adiante.

Um dos primeiros trabalhos relacionados ao tema da atividade inovativa ambiental foi concebido por Lanjouw e Mody (1996), que examinaram a relação entre o número de patentes concedidas e o rigor das políticas ambientais, medida em termos dos gastos com custos de poluição, no Japão, nos Estados Unidos e na Alemanha e em alguns países em desenvolvimento, como por exemplo, Brasil, Índia e México. Os dados sobre patentes referem-se às inovações que minimizam os impactos da poluição (*end-of-pipe*) e àquelas que reduzem a quantidade de poluentes em sua produção, com exceção das tecnologias de energia alternativa. No período entre 1971 e 1988, os autores descobriram que os custos de redução com a poluição afetavam positivamente o número de patentes concedidas, porém, com um ou dois anos de defasagem. O estudo não mostra satisfatoriamente alguns fatores de controle sobre o patenteamento, isto é, quais os elementos mais suscetíveis que afetam a inovação *end-of-pipe*. Todavia, deixa claro que o objetivo do patenteamento ambiental dos países desenvolvidos é a proteção de seu mercado e que os países em desenvolvimento avançam em direção a inovações adaptativas, especialmente em relação às tecnologias de redução da poluição da água.

Com base nas informações a nível industrial, Jaffe e Palmer (1997) expandiram o estudo de Lanjouw e Mody (1996) e incorporaram diversos aspectos que, de alguma forma, afetam a inovação ambiental. Entre esses fatores está a relação entre as leis ambientais rigorosas e a inovação em geral (não somente as inovações ambientais) medidas pelas patentes e pelos gastos em P&D, para o conjunto de setores industriais dos Estados Unidos, no período entre 1977 e 1989. De acordo com os resultados encontrados, visualizou-se que o aumento do rigor ambiental elevou os gastos com o P&D das indústrias. Entretanto, os autores não sustentaram a hipótese de que o número de patentes aumentou em decorrência das regulações ambientais. O trabalho também ressalta a importância dos efeitos e da ação das regulações ambientais (tanto rígidas quanto flexíveis), levando-se em consideração as patentes ambientais.

Brunnermeier e Cohen (2003), com base no trabalho de Jaffe e Palmer (1997), investigaram a condução das inovações em geral para as inovações ambientais. Para tanto, os autores

do sistema IPC. O método de investigação baseia-se em uma abordagem iterativa, incluído entrevistas com especialistas na área de biocombustíveis.

utilizaram informações sobre os setores industriais dos Estados Unidos e analisaram empiricamente os fatores determinantes das inovações ambientais. Usando um painel de dados, os resultados revelaram que as inovações ambientais (mensuradas pelo número de patentes concedidas à indústria) respondem aos aumentos nos gastos com os custos de poluição, ao contrário dos resultados encontrados por Jaffe e Palmer (1997). Contudo, o aumento das atividades de fiscalização e execução relacionado à existência de regulações não forneceram qualquer incentivo para as indústrias inovarem. A evidência empírica mostrou que a inovação ambiental é mais suscetível de ocorrer em setores que são internacionalmente competitivos.

Já Taylor *et al* (2003) examinaram a trajetória da inovação da tecnologia de controle da emissão de dióxido sulfúrico (SO₂) ao longo do tempo, mais especificamente as atividades relacionadas à dessulfurização do gás SO₂. A análise contou com um longo intervalo de tempo, entre os anos de 1887 a 1995 e descobriu-se que houve um maior patenteamento dessa tecnologia após a introdução da regulação do SO₂, no ano de 1970. A partir dos resultados apurados, constatou-se que a existência das regulações para a diminuição de emissão do SO₂ ajudou a estimular a formação de canais de interação e comunicação importantes para a difusão da tecnologia. Além disso, as melhorias de eficiência da emissão do SO₂ na atmosfera foram notáveis, quando as regulações foram implementadas, e os custos operacionais com a aquisição de novas tecnologias diminuíram à medida que a tecnologia ambiental foi amplamente adotada.

Estudos posteriores adicionaram outros elementos à análise da atividade inovativa ambiental, como o papel da escolha dos instrumentos políticos. Nesse sentido, Popp (2003) utilizou dados de patentes para avaliar os efeitos da introdução do sistema de licenças negociáveis para a emissão de SO₂, e do acordo com o ‘*Clean Air Act*’ (CEA) em 1990, que diz respeito à eficiência da dessulfurização do gás de combustão SO₂ por intermédio das tecnologias ambientais na variante da configuração de purificadores. Comparando-se os depósitos de patentes após a introdução do CEA com aqueles submetidos à tecnologia anterior (licenças negociáveis de emissão), encontraram-se evidências de que houve uma grande melhoria e aumento do patenteamento depois da instituição do CEA.

A respeito da difusão e transferência das tecnologias ambientais, Hašič *et al* (2010) baseou-se no universo de países com patenteamento ambiental depositado na base de patentes (Patstat) no Escritório de Patentes Europeu (EPO), restringindo-se as áreas tecnológicas

relacionadas à energia renovável, especificamente aquelas ligadas às tecnologias mais competitivas: energia solar, eólica, geotérmicas, hidroelétricas e biocombustíveis. Os resultados evidenciam que houve aumento no patenteamento ambiental coincidentemente à instituição do Protocolo de Kyoto em 1997. Após esse período, observou-se que houve aumento da taxa de patenteamento ambiental superior aos níveis gerais de patentes. Além disso, a difusão e transferência das tecnologias ocorrem tanto nos países desenvolvidos quanto nos subdesenvolvidos, mas em um ritmo mais lento que o surgimento dos problemas ambientais globais, ocasionados pelas mudanças climáticas.

Já o trabalho de Dechezleprêtre *et al* (2011) destaca-se por ser o primeiro estudo no mundo a utilizar dados de patentes depositadas no EPO para quantificar e descrever a distribuição geográfica das inovações e a tendência temporal das difusões das tecnologias ambientais, mais especificamente, as tecnologias renováveis. A conclusão dos autores é de que as inovações ambientais são altamente concentradas em países como o Japão, Alemanha e nos Estados Unidos, onde, juntos, contabilizaram 60% das inovações presentes na base de dados. Não obstante, os autores alertam para o desempenho das inovações ambientais dos países em desenvolvimento, principalmente China e Coreia do Sul, cuja evolução do patenteamento ambiental em tecnologias renováveis está longe de ser ignorada. O trabalho não se aprofunda no tema sobre as políticas e regulação como instrumento político para fomentar as inovações ambientais. Porém, deixa claro que a falta de uma rigorosa legislação ambiental, principalmente nos países em desenvolvimento, não seria a única explicação sobre as baixas taxas de transferência de tecnologia ambiental nesses países. Fatores como a abertura de mercado, fraco sistema de propriedade intelectual e baixa capacidade de absorção local (como por exemplo, o capital humano) constituem alguns dos elementos que explicariam a baixa taxa de transferência das tecnologias ambientais nos países em desenvolvimento, e porque a difusão tecnológica está mais concentrada nos países industrializados, desenvolvidos.

Outro estudo sobre a geografia da inovação ambiental, mais precisamente a respeito dos determinantes das inovações e patenteamento ambiental pelas firmas alemãs foi proposto por Rave *et al.* (2011). Na pesquisa, os autores estudaram firmas e setores específicos na Alemanha que diferiram quanto ao tipo de inovação e políticas ambientais. Entre os resultados encontrados, os autores chamam a atenção para a propensão ao patenteamento ambiental das firmas quanto às inovações relacionadas à redução e economia de energia e redução dos custos com recursos naturais. Além disso, a pressão por baixos custos e

condições favoráveis para as inovações, como, por exemplo, subsídios, criação de novos mercados e novos produtos, são pré-condições para as inovações incrementais para a difusão tecnológica entre as firmas.

Em relação aos estudos direcionados às áreas tecnológicas mais específicas, Nicolli (2013) examinou o efeito das políticas ambientais na mudança tecnológica, direcionado à área de gerenciamento de resíduos. O trabalho foi conduzido com patentes de 5 (cinco) diferentes campos tecnológicos, relacionados a resíduos de 28 (vinte e oito) países que englobam a OECD, entre o período 1980 a 2005. O estudo investigou a maneira como as políticas ambientais para o setor têm sido direcionadas pela demanda de tecnologias de gestão de resíduos. Os resultados identificaram que apesar do patenteamento das tecnologias da área terem obtido uma rápida expansão no fim dos anos 1980 até o início dos anos 90, houve uma diminuição da mesma nos últimos 15 (quinze) anos. Apesar disso, muitos países possuem um quadro regulatório ambiental bastante rigoroso que inclui a regulamentação sobre aterros sanitários e a reciclagem. Essas regulações, além de promover as inovações na área, têm por objetivo promover estratégias mais eficientes de eliminação de resíduos (reciclagem em geral) e definir metas técnicas cada vez mais rigorosas na questão do gerenciamento de resíduos.

Quanto às tecnologias relacionadas às energias renováveis, como o setor de biocombustíveis, Constantini *et al.* (2013) criaram uma metodologia capaz de evitar fragilidades e inconvenientes quanto ao uso de patentes, sua alocação e organização de acordo com bases internacionais. Para tanto, a partir da base de dados de patentes estritamente relacionadas ao campo de biocombustíveis, os autores propõem um método original, baseado na busca por palavras-chave em substituição aos códigos IPC das patentes. A seleção dessas palavras-chave baseou-se no processo iterativo apoiado na literatura científica recente. O sistemático mapeamento das patentes culminou numa série de entrevistas com especialistas do setor, revelando melhoria na precisão quanto à análise dos dados setoriais de biocombustíveis. Os resultados preliminares, a partir das estatísticas descritivas, revelaram as distinções (inovações em matérias primas e os processos de transformação) entre diferentes gerações de tecnologia e sua evolução em termos de patenteamento nos últimos 20 (vinte) anos. A seguir, o Quadro 3 expõe os trabalhos supracitados.

QUADRO 3 – Estudos empíricos com *proxies* de patentes para inovações ambientais

Autores	Abrangência Geográfica e/ou Setorização	Período Analisado	Principais Resultados
Lanjow e Mody (1996)	Japão, Estados Unidos e Alemanha	1970-1980	O artigo fornece evidências empíricas sobre o aumento do patenteamento ambiental entre os anos 70 e 80, época em já havia indícios do desenvolvimento de novas tecnologias ambientais.
Jaffe e Palmer (1997)	Setores Industriais dos Estados Unidos	1977-1979	Os resultados indicam que as regulações ambientais e as leis sobre inovações em geral (não somente as ambientais) afetam positivamente os gastos em P&D.
Brunnermeier e Cohen (2003)	Setores industriais dos Estados Unidos	1983-1992	Revelam que os custos de mitigação das emissões são relacionados significativamente com as inovações ambientais. Além disso, a competição tecnológica entre os países estimula a inovação ambiental entre eles.
Taylor <i>et al.</i> (2003)	Estados Unidos	1887-1995	Os efeitos das ações regulatórias sobre as tecnologias de controle de SO ₂ estimularam a difusão desta tecnologia ambiental, e confirmou a influência da ação governamental sobre o programa de regulação de emissões de poluentes.
Popp (2003)	Estados Unidos	1972-1997	O acordo ‘Clean Air Act’ (CEA) instituído em 1990 sobre eficiência da dessulfurização do gás de combustão SO ₂ influenciou positivamente no patenteamento e na eficiência tecnológica sob a configuração de purificadores.
Haščič <i>et al.</i> (2010)	Países com depósitos de patentes ambientais	1978-2006	Evidências de que a incidência de políticas de inovação e de meio ambiente são pré-requisitos para o desenvolvimento e difusão das tecnologias ambientais tanto em países desenvolvidos como os países em desenvolvimento.
Dechezleprêtre <i>et al.</i> (2011)	Análise e difusão global das tecnologias ambientais	1978-2003	O patenteamento ambiental das tecnologias renováveis é altamente concentrado nos países desenvolvidos, particularmente no Japão, na Alemanha e nos Estados Unidos. Entretanto, ressaltou-se o ritmo de patenteamento ambiental pelos países em desenvolvimento, principalmente na China e na Coreia do Sul.
Rave <i>et al.</i> (2011)	Firmas alemãs	2007-2009	Os autores encontraram evidências de que as firmas inovadoras alemãs são mais propícias ao incremento de inovações ambientais relacionadas à redução do custo de energia e diminuição dos gastos com insumos (recursos naturais).
Nicolli (2013)	28 países da OECD	1980-2005	Os resultados mostram que o efeitos das políticas ambientais sobre os campos tecnológicos relacionados ao setor de resíduos são positivos e significativos no papel de promotor das inovações ambientais. Contudo, a eficiência dessas políticas depende da maturidade do setor tecnológico e do efeito de políticas a longo
Constantini <i>et al.</i> (2013)	Setores de biocombustíveis	1990-2009	A metodologia elaborada baseada na busca por palavras-chave permitiu mapear os setores de biocombustíveis e revelou uma base de informações mais apuradas e detalhadas sobre o respectivo setor.

Fonte: Elaboração própria.

3.2 A Base de Dados Europeia (EPO), o Sistema de Classificação Internacional (IPC) e o Inventário Verde (*Green Inventory*)

Para os procedimentos empíricos, exploratórios e metodológicos utilizados na tese, foram utilizadas as patentes com base no Escritório Europeu de Patentes (*European Patent Office – EPO*), cujos dados foram extraídos da edição de abril de 2013 da EPO Patstat (nome oficial da base de dados de patentes mundiais da EPO). A base de dados PATSTAT foi desenvolvida especificamente para uso de organizações governamentais e instituições acadêmicas e possui uma atualização regular, realizada bianualmente (JOHNSTONE *et al.*, 2008). Os documentos de patentes são categorizados, utilizando-se o sistema de Classificação Internacional de Patentes (IPC), a Classificação Europeia (ECLA) e a Classificação de Sistemas Nacionais de Patentes. Além das informações bibliométricas legais intrínsecas em cada patente, a base de dados conta com as descrições de resumos (*abstracts*) e dados de citação de outras patentes (JOHNSTONE *et al.*, 2008). Tais informações serão essenciais, principalmente para a elaboração das matrizes de interação de Ciência e Tecnologia, que serão extraídas do resumo das patentes palavras-chave que se relacionam entre os subdomínios tecnológicos e áreas científicas em estudo. Maiores detalhes quanto à metodologia das matrizes serão abordados no Capítulo 6.

A escolha da base de patentes EPO foi pautada em sua representatividade, por permitir a construção de indicadores que podem ser estudados ao longo do tempo, pela identificação de patentes consideradas de ‘alto padrão’ e por fornecer uma ampla variedade de informações entre os inventores e depositantes (HAŠČIČ *et al.*, 2010). Existem dois outros escritórios mundiais de patentes que também são importantes, a saber: o escritório americano (*United States Patent and Trademark Office – USPTO*) e o escritório japonês (*Japan Patent Office – JPO*). As diferenças entre eles consistem no processo de registro de uma patente, que pode ocasionar determinadas limitações quanto à comparabilidade das estatísticas de patentes entre países.

Novamente, a escolha pelo escritório europeu (EPO) baseia-se na homogeneidade das informações e no procedimento mais centralizado quanto ao exame das patentes (OECD, 2009). Entende-se por esse exame, a apresentação de um único pedido de patente com todas as informações necessárias em uma das três línguas oficiais (inglês, francês e alemão), e posteriormente, caso aprovado, a concessão dos direitos de patentes em todos os países da Convenção de Patente Europeia (EPC) (OECD, 2009). Além disso, a base de dados EPO

abrange mais de 80 (oitenta) escritórios nacionais de patentes e contém mais de 60 milhões de documentos de patentes. Esses documentos são categorizados utilizando os códigos da Classificação Internacional de Patentes (IPC), desenvolvidos pela Organização Mundial de Propriedade Intelectual (WIPO) (DECHEZLEPRÊTRE *et al.*, 2011). Outra vantagem de se utilizar escritórios de patentes internacionais está aliada aos procedimentos financeiros e burocráticos. Em outras palavras, o EPO possui procedimentos mais específicos e rigorosos em relação aos demais escritórios (OECD, 2009). Do mesmo modo, a vantagem pode ser configurada também pelo alto grau de homogeneidade das informações em relação à qualidade das patentes extraídas (MIRANDA, 2014). Em virtude dos processos de depósitos de patentes serem demorados e caros, o número de patentes nos escritórios internacionais é reduzido e apresenta um viés de qualidade muito superior quando levada em consideração a expectativa de retorno *vis à vis* e seus elevados custos de depósito da patente (MIRANDA, 2014).

Outro ponto ressaltado refere-se à questão das patentes tríades²³. Certos estudos têm incorporado a temática das patentes tríades (JOHNSTONE *et al.*, 2008), restringindo a pesquisa somente pelo seu alto valor comercial e elevado grau de qualidade. Enquanto as patentes triádicas eliminam certos tipos de viés de seleção, os filtros exigidos para o estudo pretendido podem não ser suficientes para analisar áreas muito específicas de inovação tecnológica. Do mesmo modo, no âmbito das tecnologias ambientais, as patentes tríades não seriam consideradas o objeto de estudo mais apropriado, devido à imposição e limitações quanto à análise das patentes, tornando-a muito restrita e fragilizando as comparações internacionais (HAŠČIČ *et al.*, 2010). Nesse caso, quanto mais específica for a área de análise, maior a escassez do número de patentes.

Para a consecução e o tratamento da base de dados, delimitou-se em primeiro lugar o período de análise. O período proposto para a análise das caracterizações e desempenho das inovações ambientais entre os países refere-se aos anos de 1990, 2000 e 2010. Para tanto, o quantitativo de patentes ambientais depositadas registradas pelo banco de dados da base PATSTAT foi de 1.226.676 (em 1990), 1.780.282 (no ano 2000) e 2.247.078 patentes depositadas em 2010. Em virtude do elevado tamanho da base de dados e da grande variedade de informações

²³ As patentes tríades são caracterizadas por patentes depositadas no escritório europeu (EPO), no escritório americano (USPTO) e no escritório japonês (JPO), para a mesma invenção e pelo mesmo requerente ou inventor, podendo também em alguns casos, formar um tipo especial de família de patentes (OECD, 2009).

disponibilizadas pelo PATSTAT, houve a necessidade da utilização de um *software* capaz de armazenar, gerar e filtrar todos os dados essenciais para a construção dos indicadores de inovação ambiental. Para a extração dos dados, foi usado o software *MySQL 5.5*, que possui um sistema de gerenciamento de informações compatíveis para organizar e disponibilizar os resultados a partir da programação desejada (*queries*).

Para o processamento das consultas e viabilização da construção da base de patentes ambientais, consideraram-se as patentes depositadas pela autoridade, pelo inventor e pelo titular de cada nação, que necessariamente contenham elementos indicativos de uma patente ambiental. Com isso, para a classificação das patentes ambientais utilizou-se o sistema IPC e as respectivas classes tecnológicas que caracterizam a patente como ambiental, possibilitando também sua identificação de acordo com as sete áreas estratégicas²⁴ (ANEXO A), disponibilizadas pelo Inventário de Classificação de Patentes Verdes (*IPC Green Inventory*).

O sistema IPC utiliza uma abordagem mais apropriada para classificação das tecnologias ambientais, uma vez que as descrições são estruturadas em sete áreas, de acordo com suas classes tecnológicas, permitindo também a identificação das tecnologias que possuem implicações ambientais importantes, como, por exemplo, as tecnologias relacionadas à Produção de Energia Alternativa (ANEXO A). A classificação proposta pelo *Green Inventory*, disponibilizada pela WIPO, divide-se em sete seções separadas pelos seus temas e classes tecnológicas. Cada termo de classificação consiste em uma sequência de símbolos (FIGURA 1), na qual a primeira letra maiúscula representa a seção, por exemplo, a letra B que corresponde à seção de ‘Operações de Processamento; Transporte’; em seguida, o número de dois dígitos acompanhado da primeira letra maiúscula representa a classe tecnológica da patente (B60); a segunda letra maiúscula caracteriza a subclasse (B60L) e o número a seguir representa o grupo principal (B60L8) seguido do subgrupo (B60L8/00). No exemplo, a tecnologia ambiental caracteriza a ‘Propulsão elétrica a partir de energia extraída das forças da natureza’, por exemplo, do Sol, do vento.

²⁴ As sete áreas estratégicas são: (a) Produção de energia alternativa; (b) Transportes; (c) Conservação de energia; (d) Gestão de resíduos (e) Agricultura/silvicultura; (f) Aspectos administrativos, regulatórios e de projetos; (g) Geração de energia nuclear. Para maiores detalhes acessar : <<http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/est/>>.

FIGURA 1 – Exemplo ilustrativo da classificação tecnológica de uma patente

Seção				
B	60	L	8	00
Classe		Subclasse	Grupo	Subgrupo

Fonte: Elaboração própria com base no IPC *Green Inventory*.

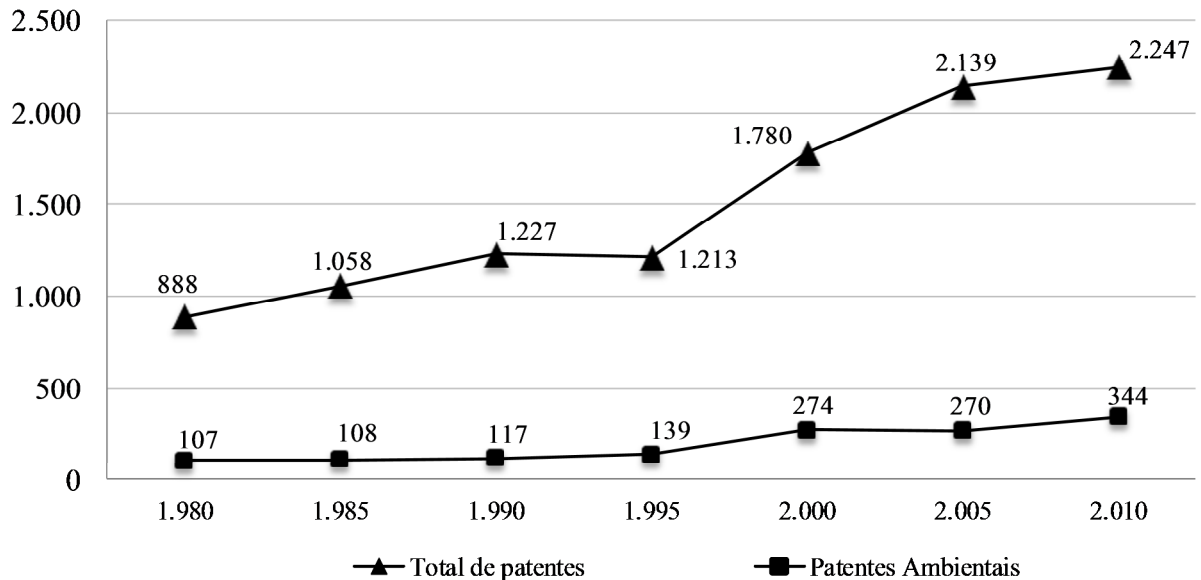
Nas tecnologias ambientais especificadas no Anexo A, é possível observar que a classificação IPC segue um sistema hierárquico que amplia o detalhamento das informações sobre os campos tecnológicos das patentes. Uma das grandes vantagens em se utilizar o sistema de classificação IPC *Green Inventory* é a apropriação de uma das técnicas mais avançadas de identificação de classes, que são totalmente adequadas para englobar as patentes relacionadas ao objeto de investigação, no caso, a classificação das patentes ambientais (CONSTANTINI *et al.*, 2013). A classificação IPC *Green Inventory* (GI) foi desenvolvida por especialistas da Comissão IPC com o objetivo de facilitar as buscas por informações de patentes relacionadas a tecnologias ambientais, as chamadas *Environmentally Sound Technologies* (ESTs), e apresentadas pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) (CONSTANTINI *et al.*, 2013). Ressalta-se que entre as classificações tecnológicas podem existir classes sem a apresentação de seus subgrupos, como, por exemplo, no caso da ‘Produção de Energia Alternativa’, na tecnologia de ‘Energia Eólica’, em que foi apresentada somente a subclasse F03D. Nesse caso e em outros semelhantes, apresentados pela classificação IPC GI, foram acrescentados todos os subgrupos que representam aquele subgrupo especificado. Com isso, pretendeu-se captar a maior influência da capacidade inventiva dos países, de acordo com o maior número de grupos que caracterizem o campo tecnológico ambiental de Energia Eólica, compreendido na respectiva subclasse.

Por fim, uma das grandes vantagens do uso das patentes do escritório EPO, utilizando a classificação do IPC *Green Inventory* refere-se às múltiplas possibilidades de análise dos resultados. Além disso, a construção da base de dados por grupos distintos de tecnologias permitirá analisar tecnologias específicas e distingui-las em relação ao seu uso pelos países desenvolvidos e em desenvolvimento. A seguir, será explorado o desenvolvimento tecnológico ambiental ao longo do tempo, de acordo com as patentes ambientais. A partir da elaboração dos indicadores destas patentes, será possível comparar as diferenças existentes entre a produção de tecnologias ambientais, analisando e identificando as amplas dimensões tecnológicas desenvolvidas.

3.3 Análise exploratória das patentes ambientais: evolução e desempenho (1990-2010)

As evidências quanto ao desempenho tecnológico ambiental obtiveram significativos efeitos a partir dos anos 90, que podem ser comparados segundo os resultados dos depósitos das patentes no Gráfico 1. Apesar de uma grande diferença observada de 84% entre o patenteamento das inovações em geral e o patenteamento ambiental, somente no ano de 2010, os resultados também mostram que houve um aumento do patenteamento ambiental, principalmente entre os anos de 1995 e 2000, com um crescimento de quase 50% entre os respectivos anos. (GRÁFICO 1).

GRÁFICO 1 – Evolução do depósito de patentes total e ambientais (milhares)



Fonte: Elaboração própria.

Como foi observado anteriormente, mediante a abordagem empírica sobre as patentes ambientais, o papel da regulação e dos acordos ambientais são fatores essenciais, tendo verdadeiros efeitos indutores (*drivers*) para as inovações ambientais, trazendo consigo o apoio ao desenvolvimento sustentável e a rápida difusão das tecnologias referentes. Além disso, o papel da regulamentação²⁵ sobre as tecnologias ambientais é particularmente importante, seja

²⁵ A respeito do papel dos instrumentos políticos sobre a redução de emissões de gases poluentes, Bergek e Berggren (2014) pesquisaram por intermédio de uma extensa revisão empírica sobre inovações nos setores de energia e de automotivo e o impacto quanto aos instrumentos regulatórios nos setores considerados como os mais poluentes. Os autores evidenciaram que as políticas regulatórias realizam um papel chave no desenvolvimento e na difusão das inovações em ambos os setores. Além disso, destacou-se a questão dos instrumentos políticos (como taxas sobre as emissões de CO₂ e sistemas de cotas de emissão de CO₂) que

por intermédio dos instrumentos baseados no mercado (por exemplo, com os impostos, licenças de permissão) ou por regulação direta (padrões de desempenho, certificados ambientais etc.) para indução das inovações ambientais.

Da mesma forma, enquanto que as características internas nacionais (nível educacional, tecnológico e econômico) e a elaboração das políticas internas (meio ambiente e tecnológica) parecem influenciar e direcionar o desenvolvimento tecnológico ambiental, o quadro político internacional também exerce um papel preponderante quanto ao desempenho tecnológico ambiental mundial. Nesse quadro político, está envolvida uma série de acordos e tratados ambientais multilaterais que incentivam o desenvolvimento de conhecimentos inter-relacionados às tecnologias ambientais com o objetivo de mitigar seus impactos ao meio ambiente (HAŠČIČ *et al.*, 2010).

Entre os mais significativos acordos mundiais²⁶ que tratam diretamente da mitigação dos impactos ambientais estão: o Protocolo de Montreal (1987, alterado em 1990, 1991 e 1992), que defende a eliminação de clorofluorocarbonetos (CFCs) e halo carbonetos do sistema de produção e processos industriais; a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (1992) retrata o impedimento às intervenções humanas que causem danos ao clima global; e, por último, o Protocolo de Kyoto (1997), que defende as reduções de emissões de gases poluentes (de pelos 5% do total de emissões) em países selecionados.

Novamente, as políticas ambientais e as políticas climáticas obtiveram um significativo impacto sobre as inovações de mitigação climática desde o início dos anos 90 (DECHEZLEPRÊTRE *et al.*, 2011). Além disso, a aceleração tecnológica ambiental no século XXI pode ser interpretada como uma resposta dos agentes inovadores ao Protocolo de Kyoto, implantado efetivamente em 1997. Posteriormente, outros países ratificaram o acordo, estreitando ainda mais a relação entre as políticas climáticas e o aumento do patenteamento das tecnologias ambientais (DECHEZLEPRÊTRE *et al.* 2011).

Em relação às diferenças entre o patenteamento nos campos das inovações ambientais²⁷, a discrepância entre as áreas impressiona, principalmente quanto ao campo 'Produção de

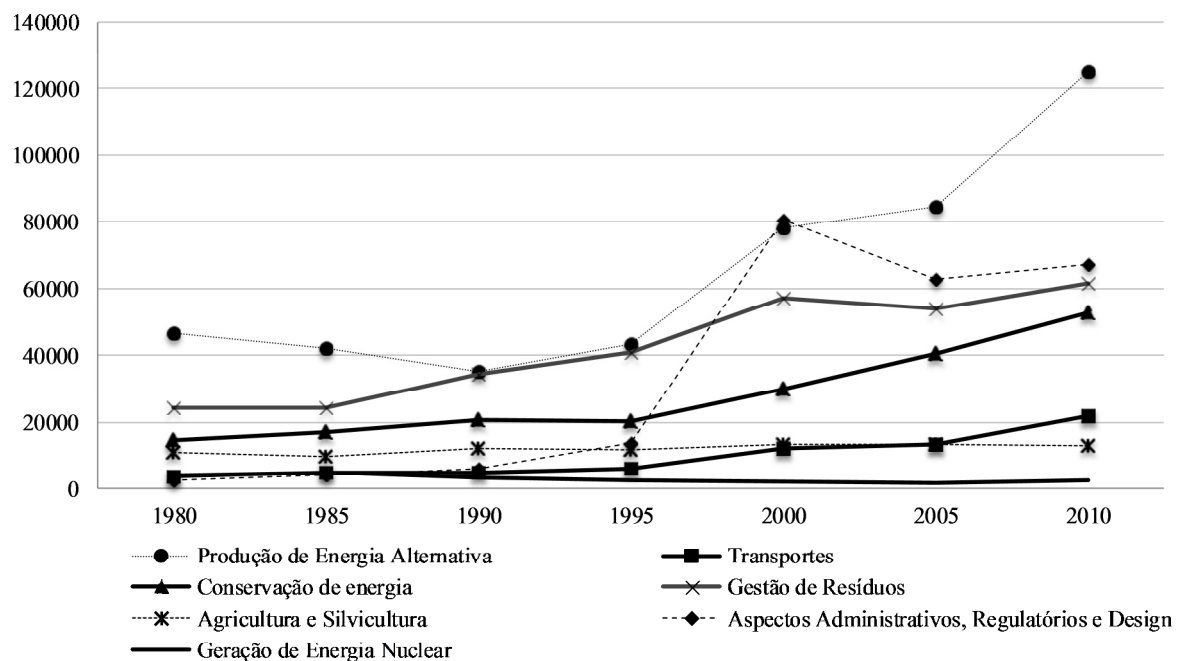
fomentam o desenvolvimento de tecnologias específicas nesses setores e impulsionam inovações radicais nos segmentos.

²⁶ Pode-se citar outros exemplos como: a Convenção de Viena (1985); o Protocolo de Helsinki (1985); o Protocolo de Sofia (1988); o Protocolo de Oslo (1994); o Protocolo de Gothenburg (1999), entre outros Protocolos específicos à sua finalidade, seu território e seu período.

²⁷Tabelas 1 e 2.

Energia Alternativa’ que representa a maior participação (34%) entre todas as demais áreas tecnológicas (GRÁFICO 2). Em uma análise preliminar, observa-se, no Gráfico 2, que entre as sete áreas tecnológicas verdes por depósitos de patentes de todos os países que englobam o Universo da base de dados, a que mais se destaca entre os anos de 2000 e 2010, refere-se à ‘Produção de Energia Alternativa’, que obteve um crescimento de 62% entre os anos supracitados e lidera o ranking em relação às demais áreas. Em seguida, encontram-se as áreas²⁸de ‘Aspectos Administrativos, Regulatórios e Design’ e de ‘Gestão de Resíduos’ com participação de 22% e 17%, respectivamente, para o ano de 2010. Entretanto, a área de ‘Gestão de Resíduos’, ao longo de toda a década de 80 até o final da década de 90, manteve-se com uma produção tecnológica superior à área de ‘Aspectos Administrativos, Regulatórios e Design’ (GRÁFICO 2).

GRÁFICO 2 –Patentes ambientais por classes tecnológicas



Fonte: Elaboração própria.

Na área tecnológica de ‘Produção de Energia Alternativa’, a classe responsável por quase 30% de toda a participação ao longo dos anos concentrou-se na área de ‘Biocombustíveis, seguida da classe tecnológica ‘Energia Solar’, com 25% de participação entre todas as tecnologias. De acordo com Haščič *et al.* (2010), o aumento no patenteamento das tecnologias

²⁸ Para maiores informações a respeito das áreas tecnológicas que abrangem os respectivos campos (Aspectos Administrativos, Regulatórios e Design; Gestão de Resíduos), consultar o Anexo A.

que envolvem a produção de energia alternativa está intimamente relacionado à introdução do Protocolo de Kyoto. Entre elas, os autores citam além dos biocombustíveis e das tecnologias de energia solar, as tecnologias interrelacionadas à energia geotérmica, eólica. Além disso, ainda confirmam a importância da associação entre as políticas climáticas globais às políticas tecnológicas, com os fatores associados ao mercado (fatores determinantes ambientais).

Outro aspecto importante entre as estatísticas de patenteamento ambiental refere-se às assimetrias presentes entre as classes tecnológicas nos grupos de países que englobam o G7 e o BRICS (TABELAS 1 e 2). Com base nos resultados da Tabela 1, referente ao grupo G7, o país que mais se destaca em relação à ‘Produção de Energia Alternativa’ são os Estados Unidos, principalmente a partir do ano 2000. Notável desempenho nesta mesma área coube à Alemanha, com mais de 20% de participação sobre o total de patenteamento ambiental observado. Tanto os Estados Unidos quanto a Alemanha possuem uma ampla e consolidada infraestrutura que atrai investidores internacionais e o capital estrangeiro. Assim, apresentam grandes fusões e aquisições de empresas relacionadas às tecnologias limpas. Entretanto, a produção de tecnologia bem desenvolvida e o elevado consumo de energia renovável podem ser uma grande fonte de incentivo ao mercado interno. Na Alemanha, por exemplo, tem-se a instalação de polos regionais aliados ao desenvolvimento de tecnologias limpas, especificamente no estado de North-Rhine Westphalia, que repercutem positivamente sobre as atividades de produção de carvão e aço bem como da indústria química, realizadas na localidade (ARRUDA; CARVALHO, 2014).

Os demais países do grupo G7 possuem além de uma forte atividade de patenteamento sobre a área de ‘Produção de Energia Alternativa’, um avanço em direção à classe tecnológica relacionada à ‘Gestão de Resíduos’, e mais especificamente ao campo de ‘Controle de Poluição’. Os Estados Unidos junto com a Alemanha lideram esta área, em todos os anos analisados, seguidos pelo Japão e pela França. Em geral, os países desenvolvidos têm investido em tecnologias que visam à mitigação dos impactos ambientais, nos quais as evidências sugerem uma forte associação entre os gastos em redução da poluição e o patenteamento das tecnologias ambientais. (LANJOUW; MODY, 1996). No entanto, apesar da infraestrutura adequada nos países desenvolvidos, com condições de investimentos e financiamento para o controle da poluição e de produção de energias alternativas, os esforços em direção a uma tecnologia limpa e sustentável não os exime de cooperar, manter e cumprir os acordos ambientais.

TABELA 1 –Quantitativo de patentes ambientais por classes tecnológicas no grupo G7 (1990-2010)

Países	Anos	Produção de Energia Alternativa	Transportes	Conservação de Energia	Gestão de Resíduos	Agricultura e Silvicultura	Aspectos administrativos, regulatórios e design	Geração de energia nuclear	Total
Alemanha	1990	2.818	341	1.178	4.070	1.775	194	149	10.525
	2000	7.505	957	2.942	5.466	2.132	2.032	171	21.205
	2010	7.576	1.787	3.026	3.018	1.287	1.559	60	18.313
Canadá	1990	391	37	102	384	44	38	14	1.010
	2000	927	120	237	806	86	681	6	2.863
	2010	967	140	300	552	61	1.064	19	3.103
Estados Unidos	1990	6.049	565	2.430	4.950	2.084	1.058	593	17.729
	2000	13.282	1.265	4.920	7.267	2.897	15.946	266	45.843
	2010	12.199	1.632	3.948	4.596	2.757	14.581	307	40.020
França	1990	1.202	143	642	1.111	411	203	267	3.979
	2000	2.052	306	626	1.974	402	901	191	6.452
	2010	2.738	436	805	1.366	185	830	165	6.525
Itália	1990	331	55	100	460	40	5	22	1.013
	2000	633	120	223	421	109	209	3	1.718
	2010	703	85	174	284	57	118	3	1.424
Japão	1990	2.080	435	1.267	1.477	860	292	143	6.554
	2000	5.462	2.111	3.609	3.386	804	3.369	144	18.885
	2010	7.937	1.766	3.976	2.658	546	2.205	196	19.284
Reino Unido	1990	766	79	377	546	736	75	17	2.596
	2000	1.443	77	303	1.276	451	713	60	4.323
	2010	1.409	139	369	635	230	605	19	3.406
Total		78.470	12.596	31.554	46.703	17.954	46.678	2.815	236.770

Fonte: Elaboração própria.

Quanto ao desempenho dos países em desenvolvimento, configurados pelo grupo BRICS, na Tabela 2, é possível observar que grande parte dos que compõem o referido grupo possuem uma participação bem modesta e diversificada frente às áreas tecnológicas ambientais dos países desenvolvidos. O grupo BRICS, representa o rápido crescimento das economias emergentes e sua intensa industrialização ao longo dos anos. Os resultados de investimentos vigorosos nas questões referentes à urbanização, à infraestrutura e à proeminência de novas classes consumidoras nesses países, fizeram com que a preocupação com a sustentabilidade tivesse um maior destaque a partir da década de 90, atentando-se principalmente para a questão do aumento dos gases poluentes na atmosfera (GLOBAL CARBON ATLAS, 2014).

A expansão da demanda interna por energia nesses países e a atenção internacional quanto à questão ambiental exigem, ao mesmo tempo, que as economias emergentes desenvolvam processos produtivos menos poluentes, econômicos e com tecnologias limpas. Nesse aspecto,

alguns países do BRICS destacam-se pelo patenteamento ambiental, como é caso da China e da Rússia. Ambos possuem grande parte da sua participação em áreas como a ‘Produção de Energia Alternativa’, com participação de 64,7% e 18,8%, respectivamente, sendo a China mais intensiva no campo da ‘Energia Solar’ e a Rússia, na área de ‘Aproveitamento de energia a partir de resíduos’. Já a África do Sul é o país com menor número de patenteamento ambiental entre os países do grupo. De certa forma, os resultados são influenciados pelos entraves causados pelas políticas governamentais sul africanas, que esbarram nas dificuldades de investimentos públicos, bem como no baixo acesso ao financiamento privado (TGCII, 2014). De acordo com a Tabela 2, a área tecnológica relacionada à ‘Produção de Energia Alternativa’ é a que mais se destaca, com participação de 2,7%, em relação às demais áreas, sendo o campo de biocombustíveis bastante promissor naquele país.

Quanto ao Brasil, o país avança como um dos grandes promotores na comercialização de tecnologias limpas entre os países em desenvolvimento (TGCII, 2014), principalmente pela participação na indústria de biocombustíveis. Como resultado, é possível observar na Tabela 2, que a participação do Brasil na área de ‘Produção de Energia Alternativa’ é relevante com 9,6%, sendo o campo de ‘Biocombustíveis’ e de ‘Aproveitamento de energia a partir de resíduos’ os mais representativos entre os demais campos. Outra área importante e que parece indicar o esforço brasileiro em direção a reduções de poluição, refere-se à área de ‘Gestão de Resíduos’, na qual o Brasil destaca-se no campo ‘Controle de Poluição’, com o aumento do patenteamento ambiental nesta área ao longo dos anos. Contudo, o frágil e reduzido patenteamento ambiental nas demais áreas parece refletir a ausência de políticas ambientais e tecnológicas que atraiam investidores para o fomento de tecnologias limpas, e o deixam atrás de outras economias em desenvolvimento como a China e a Índia.

TABELA 2 – Quantitativo de patentes ambientais por classes tecnológicas no BRICS (1990-2010)

Países	Anos	Produção de Energia Alternativa	Transportes	Conservação de Energia	Gestão de Resíduos	Agricultura e Silvicultura	Aspectos administrativos, regulatórios e design	Geração de energia nuclear	Total
África do Sul	1990	16	1	5	43	34	21	0	120
	2000	65	4	16	34	15	51	0	185
	2010	79	3	14	20	3	59	0	178
Brasil	1990	77	17	31	88	22	13	4	252
	2000	211	44	36	212	22	91	2	618
	2010	270	39	64	210	35	114	0	732
China	1990	442	227	318	604	113	17	5	1.726
	2000	2.300	918	972	2.839	493	145	12	7.679
	2010	1.034	219	496	276	70	287	9	2.391
Índia	1990	27	1	2	11	10	0	0	51
	2000	66	0	9	32	39	22	1	169
	2010	152	25	28	68	84	218	2	577
Rússia	1990	156	24	89	124	24	5	20	442
	2000	119	17	12	77	9	71	18	323
	2010	825	73	257	663	123	118	82	2.141
Total		5.839	1.612	2.349	5.301	1.096	1.232	155	17.584

Fonte: Elaboração própria.

Em relação à Índia, o governo desenvolveu, na década de 80, uma gama de políticas relacionadas ao aumento da eficiência energética no país (GOMEZ *et al.* 2012). As políticas, nesse caso, têm por objetivo não somente incentivar os investimentos privados no desenvolvimento e na comercialização de tecnologias limpas, mas também possibilitar o crescimento e o desenvolvimento sustentável. A partir dos resultados observados na Tabela 2, o país divide os esforços de patenteamento ambiental em duas áreas, a primeira área tecnológica seria mais voltada para os ‘Aspectos administrativos, regulatórios e design’ e a segunda, para a ‘Produção de Energia Alternativa’, com participação de 19,5% e 4,2%, respectivamente. Na primeira área, o campo mais patenteado foi o de ‘Biocombustíveis’ e na segunda, houve um grande equilíbrio dos patenteamentos nos campos da ‘Comutação’²⁹ e no ‘Comércio de Emissões de Carbono’.

Por fim, após o breve panorama dos indicadores de patenteamento ambiental dos países desenvolvidos e em desenvolvimento descritos anteriormente, foi possível observar que para

²⁹ O termo comutação refere-se a substituições realizadas no sentido de aumentar a eficiência e a capacidade das tecnologias antigas em troca de soluções mais modernas e sustentáveis fornecidas pelas tecnologias novas. Como por exemplo, o caso da eficácia em se utilizar e produzir veículos com maior capacidade de passageiros (High Occupant Vehicle – HOV) com tecnologia limpa, e evitando assim congestionamentos e o grande fluxo de veículos com veículo de capacidade de poucos passageiros (Single Occupant Vehicles – SOV), além da diminuição de emissões de gases poluentes no meio ambiente.

localizar-se na fronteira científica e tecnológica relacionadas às questões de desenvolvimento sustentável, torna-se fundamental a adoção de estratégias políticas ambientais, tecnológicas, científicas que fortaleçam e desenvolvam os seus SNI's.

Na próxima seção, serão apresentadas e detalhadas todas as variáveis utilizadas nas aplicações metodológicas, mediante seus objetivos, descrições, definição quanto à abordagem metodológica e fontes dos dados. As descrições e a análise de diferentes campos de acordo com as variáveis relacionadas às áreas tecnológicas, científicas, econômica e ambiental têm por objetivo captar as influências e as caracterizações dos diversos SNI's ao longo do tempo. A análise prévia das variáveis possibilitará também compreender e facilitar a interpretação das metodologias sugeridas na tese.

3.4 Indicadores de desenvolvimento econômico, tecnológico, científico e ambiental

A presente seção descreve todas as variáveis selecionadas para a aplicação das técnicas metodológicas nesta tese. 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 e foi utilizada de acordo com a complexidade e os propósitos metodológicos, isto é, para a Análise Quantitativa e Comparativa (QCA) e 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. No caso da Análise das Matrizes de Interação entre Ciência e Tecnologia, devido ao aprofundamento da análise dos Sistemas Nacionais de Inovação e suas inter-relações entre C&T, optou-se por restringir a amostra de acordo com os grupos de países

BRICS e G7 e também pela representatividade desses países nos respectivos grupos³⁰, para uma análise mais aprofundada e detalhada dos subdomínios tecnológicos e áreas científicas mais relevantes.

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 na tese, 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 patentado (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.

³⁰ Maiores informações a respeito das metodologias citadas serão descritas nos Capítulos Metodológico das Análises Multivariadas (Capítulo 4) e das Matrizes de Interação Ciência e Tecnologia (Capítulo 6).

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. É oportuno ressaltar que em alguns países como a Índia e a China possam existir, com maior incidência, uma baixa infraestrutura sanitária compatível a áreas (cidades e regiões) mais localizadas na zona rural. No entanto, em geral, o principal objetivo da inserção desta variável 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. Como a área tecnológica de 'Produção de Energia Alternativa' foi a que obteve um maior número de patenteamento ao longo dos anos 1980 a 2010 (QUADRO 4), seria pertinente avaliar este indicador de acordo com as caracterizações e com o desempenho da capacidade inovativa ambiental entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento. 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). Nesse sentido, Mowery *et al* (2010) alerta que para o alcance e produção de tecnologias de energia alternativa, é necessário ainda um longo e complexo processo de aprendizado, com melhorias incrementais e um intenso monitoramento do desempenho dessas tecnologias em uma ampla diversidade de áreas tecnológicas.

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. Apesar da estabilização e radical diminuição das emissões de gases pelos países mais poluidores, a revolução tecnológica é mais que necessária a longo, médio e curto prazo (BARRET, 2009).

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. O referido indicador extraído da base de informações do Banco Mundial é muito utilizado para comparações entre países e diferentes Sistemas Nacionais de Inovação. 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. Nesse sentido, a partir de diversos estágios dos Sistemas Nacionais de Inovação e de suas diferentes dimensões (científica, econômica, ambiental) será possível observar que a inovação ambiental não deve ser analisada como um fenômeno isolado no espaço e no tempo, mas como resultado de várias trajetórias cumulativas, construídas historicamente de acordo com as especificidades institucionais e políticas.

A seguir, o Quadro 4 fornece um resumo relativo às variáveis consideradas para a análise das inovações nos SNIs dos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

QUADRO 4 – Resumo das variáveis utilizadas para a aplicação metodológica

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

Fonte: Elaboração própria.

Nota: * Os métodos indicados representam QCA= Análise Qualitativa Comparativa; AC = Análise de Cluster e AD = Análise Discriminante; MIC&T = Matrizes de Interação de Ciência e Tecnologia

3.5 Considerações Finais

O presente capítulo teve como objetivo apresentar a relevância do tema das inovações ambientais e o arcabouço empírico envolvido, a extração e o tratamento dos dados das patentes ambientais e a construção dos demais indicadores envolvidos na análise das caracterizações dos Sistemas Nacionais de Inovação. Uma das constatações importantes foi que grande parte dos estudos empíricos que utilizaram patentes abordam a questão sobre a

regulação como uma das principais fontes indutoras da inovação ambiental. Outro fator importante está relacionado aos resultados do patenteamento ambiental que obtiveram um crescimento contínuo ao longo dos anos, em comparação com o patenteamento das inovações em geral. Além disso, observa-se que houve um expressivo crescimento de patenteamento ambiental entre os anos 90, principalmente após a introdução do Protocolo de Kyoto e possivelmente, outras políticas ambientais aplicadas no período como o Protocolo de Montreal (1987, alterado em 1990, 1991 e 1992), e a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (1992).

A riqueza e a abrangência dos indicadores de inovações ambientais, por intermédio das *proxies* das patentes, obtidas de acordo com o sistema de classificação internacional de patentes (IPC) e do *Green Inventory*, possibilitaram identificar as principais áreas tecnológicas e a tendência de patenteamento ao longo dos anos. Constatou-se que duas grandes áreas tecnológicas ‘Produção de Energia Alternativa’ e ‘Gestão de Resíduos’ foram responsáveis por grande parte do patenteamento, tanto nos países desenvolvidos como naqueles em desenvolvimento. De certa forma, ambos os campos tecnológicos que remetem à ‘Produção de Energia Alternativa’ e à ‘Gestão de Resíduos’ podem ser associados às tecnologias *clean technologies* e *end of pipe*, como especificadas no capítulo teórico.

Ainda que o aumento do patenteamento ambiental seja importante, a grande motivação para analisar as características de capacidade de inovação ambiental entre os diversos SNIs repousa na influência de outros fatores. Assim, a presente tese permitirá explorar outras dimensões que viabilizam, desenvolvem e potencializam a intensidade de inovação ambiental. Entre essas dimensões estão indicadores relacionados à competência tecnológica e ambiental, ao desenvolvimento econômico, à infraestrutura, à capacidade ambiental e à capacidade científica. Por fim, a partir das descrições de todos os indicadores a serem utilizados, é certo que haja ainda muitas questões a serem exploradas com o uso de patentes e sua relação com fatores multidisciplinares associados às questões ambientais e tecnológicas.

Realizadas essas considerações, o próximo capítulo descreve e articula algumas das técnicas estatísticas para a caracterização dos quarenta países a partir das suas variáveis aleatórias. Em conjunto, essas técnicas têm por objetivo sintetizar as informações, bem como agrupar e classificar as observações da amostra.

4 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS DE CARACTERIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

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. Uma forma de suprir essa limitação e capturar as configurações específicas de cada observação é aplicar a técnica de análise comparativo-qualitativa (fsQCA). Em outras palavras, esse método estatístico, amplamente utilizado em estudos de ciências sociais, busca apontar qual seria a configuração da interação entre os determinantes que provocou um resultado em certa observação. Por exemplo, suponha que os Estados Unidos e o Japão apresentem o mesmo nível de capacidade ambiental. Entretanto, na economia americana, esse resultado foi mais influenciado pela interação do desenvolvimento científico e econômico se comparado com os demais indicadores. Já na economia japonesa, a interação entre a infraestrutura e o grau tecnológico foi proeminente para alcançar o mesmo resultado da economia americana. Assim, embora as economias revelem o mesmo resultado de inovação ambiental, as suas configurações específicas foram diferentes. Portanto, os determinantes influenciam de forma distinta em cada observação, embora o resultado seja igual ou próximo.

Nesta pesquisa, a análise comparativo-qualitativa (fsQCA) é utilizada para capturar certas interações específicas para os quarenta países da amostra, a partir dos seis indicadores mencionados no capítulo anterior, a saber, o resultado da atividade inovativa ambiental (A), o grau de desenvolvimento econômico (P), condições de infraestrutura (S), capacidade de energia alternativa (E), nível de emissão de gases (G) e capacidade científica (C). Como nas técnicas estatísticas de análise simultânea de dados, isto é, técnicas de análise multivariada, o fsQCA também simplifica e agrupa naturalmente as observações, justamente por fornecer a frequência com que as configurações específicas ocorrem entre as observações em uma estrutura de dados. Em outras palavras, países podem exibir a mesma configuração específica (interação dos determinantes) e, desse modo, ser agrupados em um conjunto distinto dos demais. Por outro lado, como a simultaneidade de múltiplas variáveis de um amplo conjunto

de dados deve dificultar a análise exploratória dos mesmos e as decorrentes interpretações, a frequência das configurações específicas pode resumir ou sintetizar os dados, cujos propósitos se assemelham, em certa medida, às técnicas de Análise Multivariada.

Desse modo, o objetivo é utilizar a análise comparativo-qualitativa (fsQCA), a fim de explorar as configurações específicas para cada um dos quarenta países nos três recortes temporais (1990, 2000 e 2010), cujas informações estão, em certa medida, latentes nas técnicas estatísticas de inferências e de análise multivariada. Ao aplicar, para cada ano, os resultados oriundos da técnica fsQCA, eles fornecem “fotografias” de eventuais mudanças nas configurações específicas de cada país nesse intervalo temporal (análise estática). Essas alterações podem confirmar se um país se tornou mais similar ou mais heterogêneo com relação ao outro por seis variáveis citadas no capítulo anterior. Países similares devem compor naturalmente o mesmo grupo, enquanto os heterogêneos devem formar outros grupos característicos. Assim, um número pequeno de grupos gerados pelos quarenta países desta pesquisa significaria relativamente um alto número de economias similares.

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 desta tese. 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. Essa transição deve, inclusive, refletir as mudanças das configurações específicas que o QCA fornece.

Para obter a transição dos países entre os grupos ao longo dos três anos, pode-se articular a técnica de *Cluster* com ou 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 esta tese explora. Ou melhor, a estratégia metodológica desta tese 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. Essa é a principal razão pela qual esta tese articula as três técnicas estatísticas supracitadas, quais sejam: i) Análise Comparativo-Qualitativa (fsQCA), ii) Análise de Cluster e iii) Análise Discriminante. 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, as próximas seções secundárias descrevem as três técnicas estatísticas para a abordagem exploratória dos dados.

4.1 Análise Comparativa e Qualitativa *fuzzy set* (fsQCA)

A primeira aplicação metodológica a ser descrita é a Análise Comparativa e Qualitativa (QCA), que tem por objetivo analisar e compreender o fenômeno sobre a causalidade, ou seja, de explorar complexos padrões de relacionamentos. Nesse caso, a lógica da metodologia é a relação causal (dos conjuntos) para determinar as condições necessárias e/ou suficientes para produzir o resultado especificado, que no presente trabalho seria o desempenho da inovação ambiental. A QCA é particularmente adequada para as análises de configurações que dizem respeito às inovações e, por ser um método relativamente novo, não tem sido muito utilizado nas aplicações empíricas sobre inovação e nas áreas de pesquisa em economia (GANTER; HECKER, 2014).

A técnica deve ser diferenciada dos demais métodos estatísticos, que partem do princípio de um grande número de casos, desenvolvida de acordo com variáveis aleatórias e com um número grande de informações (RIHOUX; RAGIN, 2009). Todavia, ambos os métodos

(estatístico e comparativo) possuem suas respectivas vantagens e desvantagens, principalmente pela análise de grande quantidade de observações. A QCA, no entanto, percorre um caminho diferente com distinta ênfase em sua análise investigativa.

As técnicas QCA e suas aplicações foram desenvolvidas com o propósito de tratar uma quantidade pequena de observações (*small-N*) e de fornecer uma abordagem macro comparativa (*macro-comparative*). Nesta tese, serão analisados 40 casos (países) já especificados no capítulo referente à base de dados. O conceito da QCA diferencia-se dos demais métodos convencionais, como os estatísticos e econométricos. A QCA possui particularidades e seus procedimentos, assim como sua terminologia se diferenciam em relação às demais técnicas. Como exemplo, tem-se que as variáveis explicativas são retratadas aqui como *Condições*; a variável dependente é denominada *Resultado*; as observações, no nosso caso, os países desenvolvidos e em desenvolvimento serão chamados de *Casos* e as equações resultantes de acordo com as análises são rotuladas como *Soluções*.

Para a análise QCA, há dois tipos de conjunto de informações possíveis de se operacionalizar: conjuntos *fuzzy* (*fuzzy set - fsQCA*) e os conjuntos *crisp* (*crisp set - csQCA*), também chamados conjuntos Booleano³¹. A lógica entre os dois conjuntos é que o *crisp set* é um conjunto binário convencional, com apenas duas categorias de informações (zero (0) ou um (1)), e que é utilizada na construção para a Tabela Verdade (*Truth Table*) (RAGIN, 2005, 2006). Já o *fuzzy set* permite a calibração (terminologia a ser explicada na próxima seção) do grau da associação da combinação usando escores, cujo intervalo varia entre 0 e 1. As condições causais utilizadas na análise permitem o uso de ambos os conjuntos (*fuzzy e crisp*). Na análise das condições presentes na tese, serão utilizadas as condições baseadas pelo *fuzzy set (fsQCA)*.

O *fuzzy set QCA* fornece meios adequados de acomodar complementariedades complexas e relacionamentos não lineares entre as proposições (condições causais) (GANTER; HECKER, 2014). A grande vantagem do conjunto *fuzzy* reside na possibilidade de escalonar diferentes escores de associação e, por conseguinte, fornece associações parciais ou completas. Dessa maneira, os conjuntos *fuzzy* abrangem uma avaliação qualitativa e quantitativa (DIAS, 2011). Em outras palavras, ao invés de se desagregar casos em um determinado número de variáveis

³¹ A necessidade e o critério de suficiência, também conhecido como álgebra Booleana, é uma característica da aplicação do QCA. A lógica booleana é um para as tabelas verdades e, tradicionalmente tem forma dicotômica (isto é, 0 (zero) ou 1 (um)). A abordagem booleana pode ser encontrada nos trabalhos de John Stuart Mill, no qual se esforça em sistematizar as investigações comparativas com o método de semelhanças e diferenças.

independentes, o método *fsQCA* possibilita conceituá-los em combinações de atributos expressivos pelas suas associações. A partir da aplicação da álgebra Booleana, o *fsQCA* identifica quais combinações de atributos são pertinentes às condições disponíveis e discrimina os casos de conjunto dos países “inovativos ambientais” (ou os países que exibem outros atributos de interesse relacionados às condições causais).

Logo, o *fsQCA* permite entendimento de como vários casos combinam para a execução de um resultado particular que condiciona elevados níveis de complexidade causal e, o mais importante, identifica condições necessárias e suficientes para o desempenho da inovação ambiental. Além disso, o método reconhece completamente configurações de condições iguais e/ou diferentes que trazem o mesmo desempenho do resultado determinado. De fato, quando a questão se trata das causas do efeito para o resultado a ser observado, a QCA é indicada, buscando também associar as causas para o fenômeno resultante (RAGIN, 1987). O Quadro 5 ilustra um resumo descritivo das principais diferenças entre a análise QCA e outras técnicas quantitativas tradicionais.

QUADRO 5 – Diferenças entre as técnicas quantitativas tradicionais e *fsQCA*

Técnicas quantitativas tradicionais	Análise Qualitativa Comparativa <i>fuzzy set</i> (<i>fsQCA</i>)
Causalidade múltipla ou singular	Causalidade conjuntural múltipla
Universalidade ou equifinalidade	Equifinalidade
Pressuposto de simetria causal	Pressuposto da assimetria causal
Relações de aditividade e lineares causais	Relações não aditivas
Finalidade singular (Unifinalidade)	Finalidades múltiplas (Multifinalidade)
Análise das variáveis e nas relações das variáveis causais e dependentes	Análise de configurações diferentes que produzam diferentes resultados.

Fonte: Adaptado de Rihoux e Ragin (2009); Ragin (2008); Gurgel e Vasconcelos (2012).

4.1.1 Conceitos, definições, calibragem e âncoras qualitativas

Nesta tese, a análise QCA terá como objetivo observar se nos três anos em estudo (1990, 2000 e 2010) houve significativa diferença entre os resultados e as condições representadas nas soluções dos três períodos e quais as possíveis combinações causais que provocam o resultado

desejado. Da mesma forma, a análise QCA permitirá identificar em quais países as inovações ambientais são mais propícias de ocorrerem, caracterizá-las de acordo com as condições especificadas e detectar quais os possíveis caminhos que o mesmo conjunto de condições afetaria as inovações ambientais. Antes de aprofundarmos nos procedimentos do método QCA, é necessário determinar a definição dos conjuntos da QCA, que representa a mesma análise para os três anos. A especificação (rotulação) das condições deve ser apropriada aos objetivos da investigação e seus significados, cujos requisitos são claramente expressos de maneira que se especifique o seu real sentido ao relacionar-se àquele conjunto (QUADRO 6).

QUADRO 6 –Tipologias utilizadas no QCA: resultado e condições causais

Terminologia QCA	Sigla	Definição do resultado e das condições
Resultado	A	Conjunto de países com atividade inovativa ambiental
Condições causais	E	Conjunto de países que utilizam energia alternativa e nuclear
	G	Conjunto de países que emitem gases poluentes (CO ₂)
	S	Conjunto de países que possuem condições infraestruturais adequadas
	P	Conjunto de países com desenvolvimento econômico
	C	Conjunto de países com produção científica

Fonte: Elaboração própria.

Nesse caso, para investigar se a atividade inovativa ambiental é mais propícia de acontecer somente em países desenvolvidos, o conjunto de condições foi definido de acordo com perspectivas sobre a realização da inovação ambiental, conforme a teoria especificada no Capítulo 2. Assim, o uso da QCA permitirá considerar outros fatores contribuintes e não somente a questão da produção científica ou puramente econômica (como o grau de desenvolvimento dos países), mas condições que também possam fomentar e/ou desacelerar a atividade inovativa ambiental nos casos em pesquisa.

Definidas as condições causais para o fenômeno (resultado) que se pretende observar, é necessário atribuir graus de pertencimento para cada condição de cada conjunto para os três anos analisados. Por intermédio do processo de calibração, é possível atribuir escores de

pertencimento, baseando-se no método de calibragem. A peça chave para o entendimento do *fsQCA* é que diferentemente das variáveis convencionais, o conjunto *fuzzy* deve ser calibrado. Esta necessidade surge pela sua superioridade quanto aos demais métodos convencionais, à medida que o conjunto *fuzzy* oferece um caminho intermediário entre a análise qualitativa e quantitativa (RAGIN, 2008b). Dessa maneira, a partir do enfoque sobre a importância de se estabelecer determinadas propriedades e limites às condições, optou-se pelo método de calibragem direta na construção do conjunto *fuzzy* para os resultados e condições na análise. As âncoras qualitativas utilizadas podem ser observadas na Tabela 3.

TABELA 3 – Âncoras qualitativas aplicadas na calibragem (*fsQCA*)

Anos	Âncoras qualitativa	Resultado	Condições causais				
		A	E	C	G	S	P
1990	x ₁	1,0	1,0	1,0	2,7	32,2	2,3
	x ₂	0,5	0,5	0,5	7,6	58,8	15,7
	x ₃	0,0	0,0	0,0	15,5	77,1	25,7
2000	x ₁	1,0	1,0	1,0	5,8	44,2	2,7
	x ₂	0,5	0,5	0,5	10,6	62,8	13,8
	x ₃	0,0	0,0	0,0	15,4	81,4	35,9
2010	x ₁	1,0	1,0	1,0	6,5	51,6	5,0
	x ₂	0,5	0,5	0,5	11,5	67,8	25,5
	x ₃	0,0	0,0	0,0	16,6	83,9	77,5

Fonte: Elaboração própria com base nos *softwares* Stata 11 e TOSMANA.

Existem dois métodos de calibração: o direto e o indireto. Ambos alcançam calibrações precisas dos seus escores de associações, baseados tanto em âncoras qualitativas (método direto) ou agrupamentos qualitativos (método indireto). O método direto, utilizado nesta tese³², engloba três âncoras qualitativas que têm por objetivo estruturar as condições e o resultado em conjunto *fuzzy*. Para tanto, utilizam-se três pontos previamente definidos para estabelecer sua completa associação (X_1), o seu ponto de *cross-over*³³ (X_2) e o limite para a sua completa não associação (X_3).

Em relação aos valores determinados para o método da calibração direta, que se baseia em critérios externos à amostra e/ou pelo conhecimento prévio do pesquisador, optou-se pela

³² Para maiores informações e detalhes a respeito da calibração no método direto consultar Ragin (2008b).

³³ O ponto de *cross-over* é o escore da variável no intervalo escalar onde existe ambiguidade máxima, isto é, determinado caso pode pertencer ou não ao conjunto (RAGIN, 2008b).

utilização das âncoras mais usualmente encontradas na literatura (RAGIN, 2008b). Por conseguinte, com os indicadores já calibrados, é importante avaliar se é possível estabelecer relações entre a produção tecnológica ambiental em termos do conjunto de condições especificado (QUADRO 6). A relação do subconjunto *fuzzy* é somente estabelecida se, para todo caso, o grau de associação no conjunto X é menor que ou igual ao grau de associação no conjunto Y , então se subentende que o conjunto X é um subconjunto de Y . É oportuno reforçar que apesar de toda a precaução para elaborar um conjunto de dados que seja compreensível e factível à sua realidade. As informações podem apresentar algumas imperfeições e, para isso, é necessário que se façam algumas ressalvas.

Em primeiro lugar, é possível avaliar com o *fs*QCA se há certo grau de consistência na relação do subconjunto determinado, utilizando a seguinte expressão:

$$\text{Consistência } (X_i \leq Y_i) = \frac{\sum \min(X_i, Y_i)}{\sum (X_i)} \quad (1)$$

em que X_i é o grau de associação no conjunto X ; Y_i é o grau de associação no conjunto Y ; e $(X_i \leq Y_i)$ é a relação do subconjunto em questão (o *min* ordena a seleção dos dois menores escores).

A consistência, por sua vez, revela o grau no qual a relação entre as condições causais é próxima ao resultado pretendido. Em outras palavras, a consistência mensura o grau de associação dos casos, dada uma combinação de condições de acordo com o resultado (atividade inovativa ambiental) (RAGIN, 2006). Ademais, o valor (alto ou baixo) da consistência indica se existem causas específicas ou uma combinação de condições causais que constituem um dos vários caminhos possíveis para o resultado.

O conceito de cobertura³⁴ é diferente da consistência, pois a primeira avalia a relevância empírica do subconjunto representado. Em outras palavras, a cobertura mensura a extensão na qual a combinação causal é responsável pelas ocorrências do resultado, assim como mede quanto o resultado pode ser explicado pela combinação, condição causal. Quando há várias

³⁴ Em alguns casos, os valores da consistência pode ser conceitualmente semelhante ao valor da significância estatística inferencial, e alguns dos valores da cobertura possuem características similares às medidas de análise de regressão, como o coeficiente de determinação R^2 . Contudo, é importante evitar certas comparações entre as duas metodologias, justamente para não aumentar os 'conflitos' conceituais da QCA e contribuir para a sua melhor compreensão metodológica (SCHNEIDER; GROFMAN, 2006).

maneiras para um mesmo resultado, a cobertura de uma determinada combinação causal pode ser pequena, o que implica dizer que uma cobertura com alto valor pode representar uma combinação causal de relevância empírica significativa. Em suma, as duas medidas³⁵ (cobertura e consistência) são utilizadas para avaliar se a condição de um conjunto de relações é necessária, mas não suficiente para um resultado cujas ocorrências constituem as circunstâncias de uma causa.

A propósito, a equação 2, abaixo, exhibe a mensuração da cobertura do conjunto *fuzzy*, cujo cálculo da cobertura também pode ser aplicado para avaliar as condições necessárias, quando o resultado é um subconjunto da causa (RAGIN, 2006). Para tanto, a medida da importância de X_i como uma condição necessária para Y_i é dada pelo grau de cobertura de X_i por Y_i , conforme equação abaixo:

$$\text{Cobertura } (X_i \geq Y_i) = \frac{\sum \min(X_i, Y_i)}{\sum (X_i)} \quad (2)$$

A interpretação para a análise de cobertura pode ser explicada quando a cobertura de X por Y é baixa, então o efeito de X em Y é negligenciável. Tal resultado significa que a uma baixa cobertura corresponde um efeito irrelevante, ou que a condição não seja necessária. Observa-se também que o cálculo da consistência para uma relação de suficiência (equação 1) é semelhante ao cálculo para a cobertura (relevante) para uma relação necessária (equação 2). Para a solução final do *fsQCA*, é necessária a construção da Tabela Verdade que facilita a análise de acordo com as características dos casos (observações), permitindo que estudos mais diversificados (pesquisas mais complexas) identifiquem as configurações mais comuns e aquelas mais suscetíveis de não acontecer (KENT, 2008). Logo, após se estabelecer o conjunto *fuzzy*, se constrói a Tabela Verdade que retrata qualquer possibilidade de configuração na qual o número de linhas é representado por 2^k , onde k ³⁶ representa o número de atributos, condições causais (GANTER e HECKER, 2014).

³⁵ A cobertura é uma medida proporcional da dimensão em que a solução final explica o resultado. A mesma avalia a importância relativa de uma combinação de causalidade e desempenha um papel análogo ao da variância explicada em uma análise de regressão. As duas medidas (consistência e cobertura) muitas vezes lidam uma contra a outra, uma vez que uma combinação com elevada consistência pode acarretar em uma baixa cobertura e vice-versa (KENT, 2008).

³⁶ No caso do *fsQCA* realizado na tese serão 5 condições estudadas ($k=5$) e 32 possíveis combinações de condições.

O fator chave para a análise da solução final da QCA, portanto, é estabelecer um número limite de condições causais. Em resumo, quando o número de condições causais for muito elevado, maior a probabilidade de não observar as circunstâncias presentes nas combinações das condições causais, e maior o número de linhas da Tabela Verdade que não será observável (RAGIN, 2005). Nesse sentido, antes da análise das soluções finais da QCA, é necessário que se realize a minimização lógica da Tabela Verdade, tanto pela especificação do ponto de corte da frequência, quanto pelo nível de corte da consistência. Ragin (2008) estabelece que o nível de corte ideal para a minimização lógica da Tabela Verdade seja de 0.80.

Por fim, o objetivo prático da QCA é explorar a evidência descritiva e de configuração dos quarenta países desta tese. A investigação sobre os diferentes modos de combinações de condições casuais para o resultado pretendido, no caso, as inovações ambientais, permitirá uma configuração mais ampla das suas relações e estratégias com os diferentes estágios de atividade inovativa ambiental entre os Sistemas Nacionais de Inovação sob estudo.

4.2 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 dissimilaridade³⁷ 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, como se segue:

$$d(X_l, X_k) = [(X_l - X_k)'(X_l - X_k)]^{1/2} = \left[\sum_{i=1}^p (X_{il} - X_{ik})^2 \right]^{1/2} \quad \because (j \neq l) \quad (3)$$

na qual dois elementos X_l e X_k ($l \neq k$) são comparados em cada variável pertencente ao vetor de duas observações. Assim, a medida de distância euclidiana assume que quanto menor os seus valores, mais similares serão os países que estão sendo comparados. 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 infraestrutura³⁸. Esta análise é subdividida em uma abordagem hierárquica e outra não hierárquica, que serão descritas a seguir. Ambas as técnicas foram utilizadas na tese para a seleção do melhor agrupamento de países desenvolvidos e em desenvolvimento.

4.2.1 Técnicas de Agrupamento Hierárquicas

As técnicas hierárquicas de agrupamento são implementadas por uma série de fusões sucessivas ou uma série de sucessivas divisões. Os métodos hierárquicos aglomerativos começam com objetos individuais. Em seguida, os objetos mais similares são agrupados primeiramente e esses grupos iniciais são fundidos de acordo com suas similaridades. Eventualmente, como a similaridade diminui, todos os subgrupos são fundidos em um único *cluster*.

³⁷ 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).

³⁸ 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)

Os métodos hierárquicos divisivos trabalham na direção oposta. Um grupo inicial de objetos é dividido em dois subgrupos, de tal modo que os objetos em um subgrupo estão longe de ser os objetos do outro. Estes subgrupos são adicionalmente divididos em subgrupos dissimilares e o processo continua até que cada subgrupo seja o próprio elemento amostral. Os resultados de ambos os métodos aglomerativos e divisivos podem ser exibidos na forma de um diagrama bidimensional, o dendograma. O dendograma ilustra as fusões e divisões que foram feitas em níveis sucessivos, configurando-se como um importante instrumento de análise das técnicas aglomerativas. As técnicas hierárquicas aglomerativas utilizadas foram: *single linkage* (distância mínima), *complete linkage* (distância máxima) e *average linkage* (distância média).

Outro procedimento de agrupamento hierárquico utilizado e baseado na minimização das “perdas de informação” quando se agrega dois grupos de países foi o método de Ward. A técnica propõe um tratamento para a mudança de variação nos casos (inter e intragrupo). Como por exemplo, para um *cluster* i , a soma dos quadrados dos desvios de cada elemento (ESS_i) no grupo em relação a média do grupo (centroide), pode ser calculada da seguinte forma:

$$ESS_i = \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)(X_{ij} - \bar{X}_i) \quad (4)$$

sendo n_i o número de elementos no *cluster* i ; X_{ij} é a medida multivariada associada com o j -ésimo elemento do cluster i e \bar{X}_i é a média de todos os itens. No passo k , a soma de quadrados total dentro dos grupos é $SSR = \sum_{i=1}^{g_k} SS_i$. Já a distância entre os *clusters* é definida como:

$$d(C_l, C_i) = \left[\frac{n_l n_i}{n_l + n_i} \right] (\bar{X}_l - \bar{X}_i)(\bar{X}_l - \bar{X}_i) \quad (5)$$

que é a soma dos quadrados entre os *clusters* C_l e C_i . Em cada passo do algoritmo de agrupamento, os dois *clusters* que minimizam esta distância são combinados. Esta medida de distância é a diferença entre o valor de SSR ³⁹ depois e antes de combinar os dois *clusters* num único conglomerado. Assim, em cada passo, o método combina os 2 *clusters* que resultam no menor valor de SSR . Ademais, diferentemente do método de centroide, o de Ward considera a diferença dos tamanhos dos grupos em comparação: $(n_l n_i)(n_l + n_i)^{-1}$. Os resultados do

³⁹ SSR refere-se a soma dos quadrados total dos grupos.

método de Ward podem ser visualizados em um dendograma, em que o eixo vertical fornece os valores da soma dos quadrados dos erros quando ocorrem as fusões.

Em resumo, existem muitos procedimentos de métodos de agrupamento hierárquico além do *single linkage*, *complete linkage*, *average linkage* e o método de Ward. A semelhança entre eles consiste na construção de um algoritmo básico, mas intrínseco aos seus próprios critérios (métrica). Como em muitas técnicas de agrupamentos, as fontes de erro e de variações não são formalmente consideradas em nenhum deles, o que torna mais métodos sensíveis aos *outliers* (ou “pontos de ruídos”). No método hierárquico, não existe provisão para a realocação de objetos que podem ter sido incorretamente agrupados em um estágio anterior. Conseqüentemente, a configuração final de *clusters* deve sempre ser cuidadosamente examinada, verificando se a mesma é sensível.

Após a apresentação dos métodos hierárquicos mais tradicionais na literatura da área, no Quadro 7 é possível observar as principais comparações entre as técnicas e suas respectivas descrições. É importante ressaltar que os métodos *single linkage*, *complete linkage*, *average linkage* e Método de Ward são aplicáveis às variáveis quantitativas e qualitativas, enquanto o método de Ward aplica-se somente a variáveis quantitativas.

Posteriormente à realização das técnicas hierárquicas de agrupamentos, existem alguns procedimentos que podem ser feitos para alcançar o número de *clusters*. Entre eles podem ser citados: a análise dos dendogramas, a estatística pseudo F e a estatística pseudo T^2 . A estatística conhecida como pseudo F, proposta por Calinski- Harabasz (1974) é uma função do número de *clusters* g produzido em cada etapa do agrupamento. Quando a estatística F apresentar um valor máximo, presume-se que g é a partição ideal dos dados. Na prática, é necessário buscar o maior valor de F, o qual se relacionará com a menor significância, ocasionando assim a partição com maior heterogeneidade entre os grupos.

QUADRO 7 – Comparações entre as técnicas aglomerativas hierárquicas

Técnicas Aglomerativas Hierárquicas	Descrição
<i>Single Linkage</i>	A distância entre dois agrupamentos é fornecida pela distância entre os seus elementos mais próximos, o que pode ser chamado de <i>neighbour clustering</i> . A técnica pode gerar estruturas geométricas diferentes, mas é incapaz de conceber grupos pouco separados.
<i>Complete Linkage</i>	A distância entre os agrupamentos seria a distância entre seus pontos mais afastados. Propende-se a gerar clusters de mesmo diâmetro e isola os elementos considerados outliers durante os primeiros passos do procedimento do método.
<i>Average Linkage</i>	A distância entre os clusters é fornecida pela distância entre seus centroides. A técnica tende a gerar clusters de mesma variância interna, produzindo melhores partições.
Método de <i>Ward</i>	O método destina-se a gerar clusters com o mesmo número de elementos, baseado nos princípios de análises de variâncias.

Fonte: Elaboração própria.

Já a estatística pseudo T^2 proposta por Duda e Hart (1973) é realizada a partir de cada algoritmo do *cluster* em que se interrompe o procedimento quando se atinge o valor máximo. Assim, o número de partição de *clusters* que deve ser estimado com o respectivo valor do número de grupos g . Os procedimentos para a seleção do número de *clusters* pelo método hierárquico de agrupamento serão descritos a seguir, bem como a técnica não hierárquica de agrupamento, com o objetivo de obter a melhor partição de grupos dos países analisados.

4.2.2 Técnicas de Agrupamento Não – Hierárquicas

As técnicas não hierárquicas de agrupamentos são projetadas para agrupar as observações (países), ao invés das variáveis, dentro do conjunto dos *kclusters*. O número de *clusters* (k) pode tanto ser especificado previamente ou determinado como parte do procedimento de agrupamento. As técnicas têm por objetivo encontrar diretamente uma partição de n elementos em k *clusters*, atendendo a dois requisitos: i) semelhança interna e ii) isolamento dos *clusters* formados.

Os métodos não hierárquicos iniciam-se a partir de qualquer partição de itens dentro de grupos ou conjunto iniciais de centroides (sementes iniciais), que formarão os núcleos dos

clusters. Desse modo, antes de iniciar os procedimentos das técnicas não hierárquicas de agrupamento, para encontrar a melhor partição de ordem k , foram realizadas as técnicas de agrupamento hierárquicas, descritas anteriormente. O uso de ambas as técnicas viabiliza todos os processos de investigação quanto ao número e qualidade de partições possíveis.

A cada passo, os casos são agrupados ao *cluster* de centro mais próximo e novamente as médias são recalculadas. Este processo continua até que não haja mais alterações nas médias ou que um número pré-determinado de iterações aconteça, encerrando-se o processo. As principais diferenças das técnicas não hierárquicas em relação às hierárquicas são: 1) definição prévia do número de *clusters*; 2) em cada etapa, novos *clusters* podem ser formados por divisão ou junção de *clusters* inicialmente definidos. Assim, não será mais possível a construção de dendogramas na consecução da técnica não hierárquica de agrupamento; 3) os algoritmos são iterativos e possuem grande capacidade de análise do conjunto de dados.

Para a consecução da técnica não hierárquica, será utilizado um dos procedimentos não hierárquicos mais populares, conhecido como *k-médias* (*k-means*). O uso da técnica *k-médias* é sugerido quando cada elemento amostral é alocado para um *cluster* que tenha um centroide mais próximo. Segundo Mingoti (2007), para a realização desta técnica têm-se os seguintes passos:

- a) escolhem-se k centroides (sementes) para iniciar o processo de partição;
- b) compara-se cada elemento com o centroide inicial por um tipo de distância (por exemplo, a distância euclidiana). Os elementos (países) são alocados aos *clusters* pelo critério de menor distância;
- c) após a alocação dos n elementos, recalculam-se os centroides para cada novo cluster formado, repetindo o passo (b) a partir desses novos centroides;
- d) repetem-se os passos (b) e (c) até que todos os elementos estejam bem alocados em seus grupos, isto é, até que nenhuma realocação de elementos seja necessária.

O uso da análise de *Cluster* para a verificação de similaridades entre as características observadas nos países da amostra possibilitará uma nova reflexão a respeito dos diferentes grupos de países que serão formados. Países com características comuns ou compatíveis com os atributos para determinado ano se agruparão em *clusters*, de modo que será possível observar, ao longo dos três períodos de tempo (1990, 2000 e 2010), seu comportamento, a partir da seleção do número de *clusters* pré-definidos para o ano de 1990. Esta predefinição

no ano de 1990 possibilitará observar se houve alguma mudança entre os países em relação aos seus grupos nos anos de 2000 e 2010. É importante destacar que muitas foram as mudanças estruturais ocorridas nos países desde 1990, e o objetivo da predefinição do número de *clusters* com a análise discriminante, que será descrita a seguir, seria justamente desvendar quais países migraram de determinados agrupamentos em direção a outros grupos, de acordo com as características disponibilizadas na análise.

4.3 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).

Nessa técnica, a verificação dos escores da análise discriminante permitirá avaliar a qualidade dos agrupamentos formados pelos *clusters*, em termos de erro de classificação e capacidade de discriminação. Para um melhor entendimento da técnica, considerando-se o exemplo de Mingoti (2007; p.213), suponha n_1 elementos amostrais com probabilidade 1, da população A e n_2 elementos amostrais com probabilidade 1, da população B, onde cada um dos $n_1 + n_2 = n$ elementos amostrais tenham sido medidas p -variáveis aleatórias (características). Analisando-se estatisticamente o comportamento das p -características medidas, é possível realizar a identificação e o perfil geral de cada grupo. Caso haja um novo elemento amostral, o qual não

pertença a nenhuma das duas amostras anteriores e cuja origem é indeterminada, seria possível compará-lo de alguma maneira com o perfil geral dos grupos A e B e classificá-lo como pertencente ao grupo cujo perfil geral seja mais parecido ao desse novo elemento (MINGOTI, 2007).

Além disso, a análise discriminante envolve a derivação de uma combinação linear de duas (ou mais) variáveis independentes que melhor discriminarão os grupos definidos *a priori* (HAIR *et al.*, 1995). A discriminação é alcançada pela definição dos pesos das combinações lineares para cada variável, com o objetivo de maximizar a variância entre grupos (*between group*) em relação à variância dentro dos grupos (*within group*). Dessa maneira, é necessário construir uma regra matemática ou de classificação para decidir a qual grupo é mais provável que o novo objeto pertença. Esse processo de tomada de decisões fundamenta-se na probabilidade de pertencer a um dos grupos, de modo a minimizar o custo de classificação incorreta, isto é, o erro em afirmar que um objeto pertence a um grupo, quando, na verdade, pertence a outro.

Nos procedimentos de classificação para $g > 2$ grupos ($i = 1, 2, \dots, g$), com um vetor de observações fixo de p -variáveis aleatórias, $\mathbf{x}' = [x_1, x_2, \dots, x_p]$, assume-se inicialmente que $f_i(\mathbf{x}) \sim N_p(\boldsymbol{\mu}_i, \boldsymbol{\Sigma}_i)$ é a função densidade normalmente distribuída e associada com a população $\pi_i, i = 1, 2, \dots, g$. Essa função densidade é genericamente definida:

$$f_i(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\boldsymbol{\Sigma}_i|^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_i)' \boldsymbol{\Sigma}_i^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}_i)\right] \quad i = 1, 2, \dots, g. \quad (6)$$

Pela razão de verossimilhança, \mathbf{X} é alocado em π_k se:

$$\frac{f_k(\mathbf{x})}{f_i(\mathbf{x})} > \frac{p_i}{p_k} \quad \Rightarrow \quad p_k f_k(\mathbf{x}) > p_i f_i(\mathbf{x}) \quad (7)$$

sendo p_i é a probabilidade prévia de π_i . A equação (8) equivale:

$$\ln[p_k f_k(\mathbf{x})] > \ln[p_i f_i(\mathbf{x})] \quad \forall \quad i \neq k \quad (8)$$

Como prática comum, assume-se que as probabilidades prévias de cada grupo são iguais, o que resulta arbitrariamente $p_k / p_i = 1$. A decorrência dessa suposição resulta que os custos de classificações incorretas seriam iguais entre os grupos definidos previamente (JOHNSON; WICHERN, 2007). Assim, a regra de classificação acima é idêntica à de maximizar a probabilidade:

$$P(\pi_k | \mathbf{x}) = \frac{p_k f_k(\mathbf{x})}{\sum_{i=1}^g p_i f_i(\mathbf{x})} \quad (9)$$

em que $P(\pi_k | \mathbf{x})$ refere-se que \mathbf{X} provém de π_k , dado que \mathbf{X} foi observado. Se as matrizes de covariâncias forem diferentes, a função discriminante será quadrática. Por outro lado, se as mesmas matrizes forem iguais, a razão em (9) resulta na função discriminante de Fisher. Pelos testes realizados nas variáveis características desta tese, as matrizes de covariâncias dos grupos definidos pela análise de Cluster apontam que as mesmas são próximas, o que implicou na função linear de Fisher.

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 na tese 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.

No caso da avaliação da qualidade da função discriminante de acordo com os grupos de países, será utilizada a estimativa das probabilidades de classificações incorretas (MINGOTI, 2007) que consiste na avaliação de seus erros. No caso de duas populações, podem-se especificar os erros da seguinte forma:

- a) *erro 1*: o elemento amostral pertence à população 1, mas a regra de classificação o coloca como sendo proveniente da população 2;
- b) *erro 2*: o elemento amostral pertence à população 2, mas a regra de classificação o classifica como sendo proveniente da população 1.

A propósito, as probabilidades de ocorrência destes erros podem ser denotadas como:

$$\text{Prob (Erro 2)} = p(1|2) \quad (10)$$

$$\text{Prob (Erro 1)} = p(2|1) \quad (11)$$

A partir dos resultados dessas probabilidades, é possível inferir que quanto menor forem estas probabilidades, melhor será a função de discriminação. Para uma avaliação mais concisa da análise discriminante, três métodos não paramétricos auxiliam na avaliação da qualidade de ajuste da regra de discriminação, a saber, o método de reclassificação, o método de colocação de elementos à parte para classificação clássica (*Holdout method*) e o método de Lachenbruch (MINGOTI, 2007). No primeiro método, os escores de cada elemento amostral observados na população 1 e 2 são calculados, sendo a regra de discriminação usada para classificar os $n_1 + n_2 = n$ elementos da amostra conjunta (MINGOTI, 2007). Quanto ao método de colocação de elementos à parte para classificação clássica (*Holdout method*), a amostra conjunta $n_1 + n_2 = n$ elementos é separada em duas partes, sendo uma delas para a construção da regra de discriminação e outra parte para a estimação das probabilidades de classificações incorretas (MINGOTI, 2007). 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). Para suprir essa deficiência, considerando-se o tamanho da amostra pequena (40 países), será usado o método

de Lachenbruch⁴⁰, o qual é dos mais utilizados e consiste numa validação cruzada, de acordo com as seguintes etapas:

- a) deve retirar-se um vetor de observações da amostra conjunta e utilizar os (n_1+n_2-1) elementos restantes para construir a função de discriminação;
- b) utiliza-se a regra de discriminação elaborada para classificar o elemento que permaneceu fora, verificando, neste caso, se a regra acertou a sua real procedência;
- c) sugere-se retornar o elemento retirado à amostra original e retirar um outro, repetindo os passos 1 e 2.

As etapas destacadas acima devem ser repetidas para todos os elementos da amostra conjunta e, com os resultados, computam-se as probabilidades de classificações incorretas e a taxa de erro esperada (AER):

$$\hat{E}(AER) : \frac{n_{1M}^{(H)} + n_{2M}^{(H)}}{n_1 + n_2}, \quad \text{tal que } \hat{P}(2|1) = \frac{n_{1M}^{(H)}}{n_1}, \quad \hat{P}(1|2) = \frac{n_{2M}^{(H)}}{n_2} \quad (12)$$

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

⁴⁰ Johnson e Wichern (2007, p.603) apresentam detalhadamente o procedimento de validação de Lachenbruch, considerando as matrizes de dados e determinadas estatísticas descritivas.

classificar adequadamente os grupos de países para as atividades tecnológicas ambientais no período em questão.

Alguns estudos sobre o tema das inovações ambientais já utilizaram a análise discriminante para investigar a capacidade do processo inovativo ambiental e suas possíveis classificações com variáveis relacionadas a fontes de informação. Por exemplo, Peiró-Signes *et al.* (2014) analisou as características de 7.682 firmas da Espanha com o objetivo de identificar características promotoras da capacidade de inovação ambiental. As informações do questionário de inovação tecnológica da Espanha '*Panel de Innovación Tecnológica*' (PITEC) englobaram dois grupos de variáveis. O primeiro grupo referiu-se à importância das fontes de informação das firmas (fontes internas, clientes, concorrentes, universidades e revistas científicas) e o segundo focalizou a importância de objetivos específicos às firmas (aumento da participação do mercado, aumento da qualidade, da economia de energia e materiais). Os resultados mostraram que a influência das variáveis de produto e processo das firmas é essencial para a discriminação da capacidade ambiental das mesmas. O trabalho utilizou a função discriminante como forma de investigar se as variáveis selecionadas podem prever o grupo de empresas com o perfil mais orientado ao fomento das inovações ambientais. Ao final, os autores justificaram o uso da análise discriminante como sendo satisfatória, permitindo diferenciar as empresas em grupos adequados e distingui-los de acordo com as características apresentadas pela análise.

Segarra-Oña e Peiró-Signes (2013) também investigaram as firmas da Espanha, baseados no mesmo questionário, porém com uma amostra menor - 3.103 empresas. O objetivo do trabalho foi avaliar as empresas em grupos de acordo com sua responsabilidade e desempenho ambiental. Baseando-se no questionário PITEC, investigaram-se as características de variáveis quanto à importância das fontes de informação, da introdução de inovações organizacionais e comerciais, da regulação ambiental, da segurança e saúde e da redução dos impactos ambientais. Os resultados da análise discriminante destacaram três pontos importantes. O primeiro ponto destaca a introdução de inovações de produto e processo como aspectos importantes na determinação da trajetória ambiental das firmas. O segundo destaque refere-se à necessidade de se considerar a importância das fontes de informação do mercado e da introdução das inovações comerciais e organizacionais como um aspecto diferencial, porém de menor magnitude. Por fim, ressaltou-se que a importância das fontes de informação de mercado no processo inovativo, afeta positivamente a orientação ambiental das firmas.

Desse modo, a partir da abordagem metodológica revelada neste capítulo, pretende-se identificar e caracterizar os fatores mais propícios a dinamizarem o processo tecnológico ambiental nos países da amostra, nos anos 1990, 2000 e 2010. A análise das condições causais, as combinações de condições que propiciam o fomento ambiental, além do agrupamento de países de acordo com suas características configuradas pelo método de classificação ao longo do tempo, permitirão uma análise completa do comportamento dos países e o respectivo desenvolvimento de seus Sistemas Nacionais de Inovação.

5 RESULTADOS EXPLORATÓRIOS DAS TÉCNICAS ESTATÍSTICAS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados da aplicação das três metodologias descritas no capítulo anterior, a saber, a Análise Qualitativa Comparativa (*fsQCA*), a Análise de *Clusters* e a Análise Discriminante. O objetivo da utilização das metodologias explicitadas será examinar e explorar as tipologias e as características do conjunto dos Sistemas Nacionais de Inovação (SNI's), de acordo com a amostra de países. A partir dos resultados apresentados a seguir, será possível avaliar as principais diferenças intrínsecas aos diferentes SNI's e analisar as condições que influenciaram o desenvolvimento da capacidade inovativa ambiental desses países no período analisado. Conforme posto, as técnicas estatísticas exploratórias permitirão entender a natureza complexa entre as relações simultâneas dos SNI e sua dinâmica sistêmica com as inovações ambientais que serão apresentadas no Capítulo 6.

5.1 Configurações específicas para os países nos anos de 1990, 2000 e 2010

Antes das descrições dos resultados do *fsQCA*, ressalta-se que um dos objetivos do uso da técnica *QCA*, além da análise do comportamento das combinações das condições causais para os anos, será compreender como essas mesmas condições inseridas por diferentes dimensões fomentam a atividade tecnológica ambiental. A primeira etapa antes da aplicação da *QCA* diz respeito à calibração das variáveis para técnica *fuzzy*, já explicitada no Capítulo 4. Após esse procedimento, observaram-se quais as primeiras configurações encontradas a partir das condições distintas entre os países. Os resultados exibidos no Quadro 8 mostram todas as configurações para cada conjunto das condições causais. A interpretação dessas configurações tem por objetivo compreender a intensidade das condições dispostas, isto é, a magnitude das condições que pode ser revelada pela representação das letras maiúscula e minúscula, referindo-se à alta e à baixa intensidade das condições, respectivamente.

A configuração das condições dispostas no Quadro 8 referem-se à interação entre os determinantes que provocaram o resultado em certo país. Mais especificamente, suponha que o Brasil e os Estados Unidos tenham o mesmo nível de capacidade ambiental. Contudo, na economia brasileira, esse resultado foi mais influenciado pela interação da capacidade de energia alternativa (E) e de infraestrutura (S), quando comparado aos demais indicadores⁴¹. Já na economia americana, a interação entre o desenvolvimento econômico (P) e a infraestrutura

⁴¹Para maiores detalhes, veja o Quadro 6 do capítulo 4, cuja ilustração apresentou as condições causais que formam uma configuração específica.

científica (C) foram relevantes para alcançar o mesmo resultado da economia brasileira. Embora os países revelem o mesmo resultado de inovação ambiental, as suas configurações específicas foram diferentes. Dessa forma, os determinantes influenciam de forma distinta em cada observação, embora o resultado seja igual ou próximo.

Os conjuntos de configurações mostram que em 1990, cerca de 15% dos países experimentaram uma combinação de condições causais em níveis acima da média (ECGSP), entre eles: Bélgica, Canadá, Estados Unidos, Finlândia, Japão, Reino Unido. Tal configuração indica que nesses países, no ano de 1990, para a realização da atividade da inovação ambiental, a combinação de altos níveis de utilização de energia alternativa, significativa capacidade de produção científica, elevado nível de emissões de gases poluentes, boas condições de infraestrutura e alto nível de desenvolvimento econômico foram elementos indispensáveis e formaram as melhores condições no fomento da atividade inovativa ambiental. Para o mesmo ano, os países em desenvolvimento apresentaram diferentes configurações. Contudo, foi perceptível que a participação de uma considerável infraestrutura (S), como no caso do Brasil, uma forte estrutura científica (C) e de desenvolvimento econômico (P), especialmente na China e na Índia, indiquem fatores propícios ao fortalecimento de seus Sistemas Nacionais de Inovação. A exceção dos resultados nos países em desenvolvimento, foi a África do Sul que apresentou como configuração para a atividade inovativa, altas emissões de gases poluentes (G).

No ano 2000, a configuração mais comum (ecgSp) representada por 20% dos países, foram aquelas que tiveram baixa utilização de energia alternativa e nuclear, pequena produção científica, baixo nível de emissão de gases, pequeno grau de desenvolvimento econômico, mas considerável nível de infraestrutura. Os países que se enquadraram nesta configuração foram: Argentina, Cuba, Grécia, Malásia, México, Portugal, Romênia, Turquia. Acredita-se que estes mesmos países, por apresentarem Sistemas Nacionais de Inovação imaturos, necessitam avançar em vertentes relacionadas à infraestrutura científica e ao fortalecimento de sua capacidade tecnológica. Todos os países apresentaram a mesma configuração no ano anterior (1990), revelando que o desequilíbrio entre a atividade inovativa ambiental e o desenvolvimento das estruturas que balizam os Sistemas Nacionais de Inovação continuaram ao longo da década de 90.

QUADRO 8 – Resultados dos conjuntos das configurações específicas

1990		2000		2010	
Conf.	Quantidade de países	Conf.	Quantidade de países	Conf.	Quantidade de países
ECGSP	(6) Bélgica, Canadá, Estados Unidos, Finlândia, Japão, Reino Unido	ECGSP	(3) Bélgica, Canadá, Estados Unidos	ECGSP	(2) Canadá, Estados Unidos
ECgSP	(4) Alemanha, França, Suécia, Suíça	ECGSp	(1) Rússia	ECgSP	(7) Alemanha, Bélgica, Espanha, França, Japão, Singapura, Suécia
ECgSp	(2) Espanha, República Tcheca	ECgSP	(7) França, Japão, Espanha, Reino Unido, Suíça, Suécia, Alemanha	ECgSp	(2) Brasil, Coréia do Sul
EcGSp	(1) Bulgária	ECgSp	(2) Brasil, Coréia do Sul	EcGSP	(2) Finlândia, Noruega
EcGSP	(2) Áustria, Noruega	EcGSp	(1) República Tcheca	EcGSP	(1) Áustria
EcGSp	(4) Argentina, Coréia do Sul, Brasil, Ucrânia	EcGSP	(4) Áustria, Finlândia, Noruega, Ucrânia	EcGSp	(5) Bulgária, Portugal, República Tcheca, Romênia, Ucrânia
eCGSP	(3) Austrália, Dinamarca, Holanda	EcGSp	(1) Bulgária	eCGSP	(1) Austrália
eCGSp	(2) Polônia, Israel	eCGSP	(1) Austrália	eCGSp	(1) Rússia
eCgSP	(1) Itália	eCgSP	(3) Israel, Holanda, Itália	eCgSP	(3) Holanda, Itália, Reino Unido
eCgSp	(2) Índia, China	eCgSp	(1) Polônia	eCgSp	(3) China, Polônia e Turquia
ecGSP	(1) Luxemburgo	eCgSp	(2) Índia, China	eCgsp	(1) Índia
ecGSp	(2) Singapura, Irlanda	ecGSP	(3) Irlanda, Luxemburgo, Singapura	ecGSP	(1) Luxemburgo
ecGsp	(1) África do Sul	ecgSP	(2) Dinamarca, Moldova	ecgSP	(5) Dinamarca, Grécia, Irlanda, Israel, Singapura
ecgSP	(1) Moldova	ecgSp	(8) Argentina, Cuba, Grécia, Malásia, México, Portugal, Romênia, Turquia	ecgSp	(5) Argentina, Cuba, Malásia, México, Moldova
ecgSp	(8) Grécia, Cuba, Malásia, México, Portugal, Romênia, Rússia, Turquia	ecgsp	(1) África do Sul	ecgsp	(1) África do Sul

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0. Nota: Os indicadores utilizados nas configurações representam, respectivamente, o conjunto de países: que utilizam energia alternativa e nuclear (E); com produção científica (C); que emitem gases poluentes (G); que possuem condições infraestruturais adequadas (S); com desenvolvimento econômico (P).

No ano de 2010, a configuração (ECgSP) foi a mais representativa entre os países da amostra com 17,5%, seguida por sete (7) outros: Alemanha, Bélgica, Espanha, França, Japão, Suécia, Suíça. Observou-se também uma "desconcentração" de combinações com condições entre os países desenvolvidos e os países em desenvolvimento. A desconcentração citada refere-se, principalmente, às condições quanto ao maior uso da energia alternativa e nuclear, à elevada produção científica e ao baixo nível de emissão de gases poluentes. O quadro 'ideal' seguido pelos sete países citados, todos desenvolvidos, revela que a baixa condição de emissão de gases poluentes passou a ser um dos fatores influentes à atividade inovativa ambiental. Nesse aspecto, é provável que a condição mínima de poluição incentive também a descoberta de novos paradigmas ambientais. Em outras palavras, quando se atinge um nível técnico superior de atividades tecnológicas ambientais, surgem também novas pesquisas em engenharia e ciência que, a longo prazo, convergem para uma maior tendência no âmbito tecnológico ambiental (sustentabilidade) (WINDRUM *et al.* 2009). No Quadro 8, é possível verificar todas as configurações individuais possíveis para os países da amostra nos anos analisados.

Após a análise das configurações dos casos (países) em relação às suas combinações de condições, é importante avançar a discussão e compreender com maior profundidade o relacionamento entre as condições (variáveis independentes) e o resultado (atividade inovativa ambiental) por intermédio dos métodos utilizados no conjunto *fuzzy*. Desta forma, os Anexos B e C exibem dois tipos de matrizes, a matriz de coincidência e a matriz de suficiência e necessidade, respectivamente.

A matriz de coincidência é útil para compreender as relações entre as variáveis independentes, quando se usam métodos de acordo com a teoria *fuzzy* (LONGEST; VAISEY, 2008). A matriz mensura a quantidade de sobreposição ou coincidência entre dois conjuntos ou configurações. Os resultados da matriz de coincidência (Anexo B) são bastante expressivos para todos os anos, com exceção de 1990, que possui o menor escore de coincidência com 47% sobre o resultado, onde estão as condições de emissão de gases poluentes e a utilização de energia alternativa. Em contrapartida, os maiores valores de sobreposição referem-se ao ano de 2010, com uma alta taxa de cobertura de 99%. Entre as condições causais, a infraestrutura e o grau de desenvolvimento econômico se mostram fundamentais para que ocorra a inovação ambiental nos países.

Já a matriz de suficiência e necessidade visualizada no Anexo C mostra qual o conjunto de condições é mais suscetível de prever o resultado A (atividade inovativa ambiental). Considerando o resultado (A) como parâmetro, observa-se que a produção científica foi a que obteve maiores escores de consistência (valores a seguir entre parênteses), entre todas as demais condições para os anos de 1990 (83.3%), 2000 (84.7%) e 2010 (86.6%), sendo assim uma condição fundamental para o alcance do resultado na maioria dos países. Além da exposição inicial das relações entre as condições e os resultados para cada ano, as matrizes também possuem o objetivo de demonstrar a utilidade da padronização dos dados, realizada pelo procedimento de calibração.

A seguir, na Tabela 4, são expostos testes para suficiência de possíveis configurações das condições (E, C, G, S e P) para o resultado pretendido (A). Ou melhor, os testes exibidos na Tabela 4 têm por objetivo avaliar os resultados das combinações entre os conjuntos das condições e verificar se, de fato, elas se relacionam por intermédio dos testes de consistência, de acordo com o resultado (A)⁴². Para Ragin (2006), os escores de consistência indicam que quanto mais próximos de 1, maior será sua consistência⁴³. O valor limite estabelecido para a consistência entre as combinações e o resultado foi de 0.7, abaixo desse valor, seria muito difícil afirmar que há qualquer relação entre o conjunto de condições e o resultado. Com o valor de corte estabelecido (0.7) entre a ocorrência dos resultados e a combinação das condições, percebe-se que as consistências das combinações obtiveram valores próximos a 1, e todas as soluções foram significativas estatisticamente a 5%, de acordo com o *p-value*. A partir dos conjuntos de condições mais comuns para cada ano analisado, os quais informam as configurações mais consistentes para a realização da atividade inovativa ambiental, reduziu-se o mesmo conjunto para um número mínimo de perfis.

Os resultados apresentados na Tabela 4, apenas configuram uma análise preliminar antes de avaliarmos os conjuntos de condições. Essa análise prévia é importante, à medida que são analisadas as relações entre as condições reduzidas a um número mínimo de conjuntos preponderantes que traduzem e sintetizam as combinações das condições, de acordo com o perfil e a frequência dos países que alcançam o resultado da atividade inovativa ambiental. A partir das configurações visualizadas na Tabela 4, observa-se que ao longo das três décadas

⁴² Foram excluídas da análise todas as combinações que não obtiveram nenhum caso (observação) e combinações cujo valor de consistência ficou abaixo de 0.70.

⁴³ Uma das vantagens do conjunto *fuzzy* seria quanto a realização de testes mais rigorosos do valor da consistência para cada configuração (LONGEST e VAISEY, 2008).

houve algumas mudanças quanto ao número de configurações, sendo reduzido a seis (6) para o ano de 2010 e na quantidade de países pertencentes às configurações dispostas, sendo o ano de 1990 o mais representativo com vinte e um (21) países. Este resultado é fruto da percepção e do reconhecimento por parte das economias de que o processo de inovação ambiental depende de interações entre diversos campos no contexto econômico, científico e da própria capacidade de mitigação dos impactos ambientais dos países. A partir da minimização das configurações e da redução destas para o ano de 2010, observa-se que houve um processo de interação mais agregado, isto é, mais países enquadraram-se em configurações antes compostas por apenas uma nação. Este movimento ressalta a importância de que ao longo dos últimos vinte (20) anos, para a realização das inovações ambientais, 45% dos países da amostra obtiveram processos interativos em diferentes níveis, mais concentrados e com uma crescente interação entre as condições analisadas.

TABELA 4 – Configurações consistentes conforme o teste

Ano	Configurações	Consistência	Teste F	P-valor	Número de países
1990	ecGsp	0,99	65,84	0,00	1
	eCGSp	0,94	26,01	0,00	1
	eCGSp	0,99	996,27	0,00	2
	eCGSP	0,92	8,96	0,01	3
	EcGSP	0,99	608,44	0,00	2
	ECgSp	0,87	6,40	0,00	2
	ECgSP	0,90	19,70	0,00	4
	ECGSP	0,91	6,45	0,02	6
2000	eCgSp	0,97	180,74	0,00	1
	eCgSP	0,90	14,38	0,00	3
	eCGSP	0,99	426,55	0,00	1
	EcGSp	0,93	32,51	0,00	1
	ECgSp	0,97	181,27	0,00	2
	ECgSP	0,87	8,56	0,01	7
	ECGSp	0,96	38,59	0,00	1
2010	eCgSp	0,92	58,86	0,00	3
	eCgSP	0,87	7,85	0,01	3
	EcGSP	0,91	5,42	0,03	1
	EcGSP	1,00	70,63	0,00	2
	ECgSp	0,93	38,73	0,00	2
	ECgSP	0,89	6,87	0,01	7

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

A partir da minimização do valor do corte de consistência e avaliação dos testes, no Quadro 9, são apresentadas as primeiras soluções, as soluções parciais propostas por Longest e Vaisey (2008), que possuem o objetivo de verificar soluções comuns e reduzi-las de acordo com uma estrutura lógica segundo o contexto empírico, isto é, quais configurações das interações entre os determinantes provocaram a atividade inovativa ambiental. Os conjuntos de condições do

Quadro 9 representam as equações reduzidas da configuração para um número mínimo de conjuntos.

QUADRO 9 – Minimização dos conjuntos de condições

Ano	Configurações	Cobertura bruta	Cobertura única	Consistência da solução
1990	e*c*G*s*p	0,03	0,03	0,99
	e*C*G*S	0,27	0,09	0,94
	C*S*P	0,49	0,32	0,86
	Cobertura total		0,61	
	Consistência da Solução		0,88	
2000	E*C*g*S*p	0,32	0,27	0,97
	e*C*G*S	0,13	0,08	0,99
	Cobertura total		0,40	
	Consistência da Solução		0,97	
2010	E*c*G*S*P	0,07	0,07	1,00
	G*s*p	0,02	0,02	0,99
	Cobertura total		0,08	
	Consistência da Solução		0,99	

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

Os três conjuntos de configurações mínimas para o ano de 1990 e os dois conjuntos de condições para os anos de 2000 e 2010, apresentaram estatísticas específicas referentes a cobertura e que, geralmente, são apresentadas quando existe mais de um conjunto de combinação de condições e que produzam um único resultado (equifinalidade). As coberturas bruta e única, quando se têm várias combinações de condições, avaliam a importância relativa de cada uma das configurações. A primeira cobertura (*cobertura bruta*) refere-se à importância empírica relativa por termo na explicação da solução e a cobertura única retrata esta importância empírica, explicando separadamente cada termo da solução, isto é, desconsidera as condições presentes que são cobertas por outras soluções. Ambas as coberturas são bastante significativas, pois não apenas revelam a cobertura de cada configuração, mas também o seu peso empírico relativo (RAGIN, 2006).

Os resultados exibem uma solução de consistência muito boa em todos os anos, sendo que o ano de 1990 apresentou o menor valor (86%). Para o mesmo ano, as soluções parciais retratam que elevados níveis de emissão de CO₂ (G), alta produção científica (C) e condições

mínimas infraestruturais (S) foram os fatores chave para a maior ocorrência de inovações ambientais. Nesta etapa em que se executa a minimização dos conjuntos de condições (Quadro 9), visualiza-se apenas a combinação de configurações mais expressivas para cada ano, não sendo possível determinar quais os países que se enquadram em suas respectivas configurações. Em relação ao ano 2000, boas condições de infraestrutura e produção científica mostraram-se mais suscetíveis à realização da atividade inovativa ambiental, conforme a configuração com maior valor de consistência (e*C*G*S). Por fim, no ano de 2010, observou-se que ambos os perfis apresentaram todas as condições em elevados níveis como a de emissão de gases (G), condições de infraestrutura (S), uso de energia alternativa e nuclear (E) e considerável nível de desenvolvimento econômico (P), com exceção da atividade científica, que apresentou um nível inferior para a realização das atividades inovativas ambientais. Assim como observado na Tabela 4, na qual a quantidade de minimização das configurações diminuiu ao longo do tempo, no Quadro 9 os resultados também convergem para poucas composições das equações. Esses resultados ressaltam que para o processo de realização da atividade inovativa ambiental, grande parte dos países se desenvolveram e seguem em direção a um novo paradigma tecnológico ambiental, apesar das diferenças entre seus Sistemas Nacionais de Inovação.

Por intermédio dos resultados supracitados, observou-se que o grau de desenvolvimento econômico não se constituiu fator preponderante nos conjuntos de condições. Mas, em geral, o que se observou a partir dos conjuntos foi que a emissão de gases poluentes e a produção científica estão fortemente relacionadas e podem ser caracterizadas como fortes elementos associados à ocorrência de inovações ambientais. Em parte, os resultados sugerem que, ao longo do tempo, os países com Sistemas Nacionais de Inovação fortalecidos, isto é, que possuem uma boa condição de infraestrutura e de capacidade científica, foram os mais propensos à realização da atividade tecnológica ambiental. No entanto, para que os efeitos das tecnologias ambientais mitiguem os impactos negativos da poluição, será necessário um esforço de todos os países, tanto desenvolvidos como das nações em desenvolvimento. A importância deste entendimento repousa na ideia de que, para que haja uma mudança tecnológica ambiental em escala global, será necessária, além das condições aplicadas nesta tese, a revisão de padrões sociais, culturais e de consumo, e não unicamente a introdução e o desenvolvimento de tecnologias ambientais.

Embora os resultados apresentados (Tabela 4 e Quadros 8 e 9) sejam consistentes e apresentem conjuntos de combinações de condições causais adequados e relevantes à literatura, optou-se também por gerar os procedimentos da QCA seguindo o critério de Olsen e Nomura (2009). No trabalho empírico dos autores, foi realizado um procedimento para análise da sensibilidade da consistência e da cobertura da solução, de acordo com o ponto de corte da consistência, considerado como parâmetro para o nível de corte mais adequado. Para a execução deste procedimento, utilizou-se o conjunto *fuzzy* e o *software fsQCA*. O programa *fsQCA* possui, entre outras vantagens, a possibilidade de investigar a Tabela Verdade de maneira mais fácil e aprofundada para diversas análises e auxilia na diversidade e simplificação das três principais soluções finais (complexa, parcimoniosa e intermediária) (Kent, 2008) que serão melhor explicadas e aprofundadas a seguir.

Na Tabela 5, são apresentadas as “Tabelas Verdades” dos conjuntos *fuzzy* com todas as combinações das condições causais, para o recorte temporal desta tese. A princípio, as Tabelas Verdades possuem 32 linhas (2^k ($k=5$)), sendo cada uma delas combinação de condições possíveis. Logo, após a construção da Tabela Verdade, especificando-se as condições causais e o resultado pretendido, deve-se determinar o ponto de corte de frequência, principalmente quando o N (número de casos for grande) (RAGIN, 2005). Nesta tese, foi escolhido o ponto de corte mínimo com dois (2) países em cada combinação causal e, desta forma, foram eliminadas as linhas da Tabela 5 com um único país.

A próxima etapa, após a construção da Tabela Verdade e de sua minimização, será selecionar o nível de corte para a consistência revelada pelas combinações causais. Para Ragin (2008), o nível de corte de consistência deve ser igual ou superior a 0.80, já que valores inferiores podem ser considerados como inconsistentes. A preocupação quanto ao valor do nível de corte da consistência refere-se ao seu reflexo sobre a consistência e a cobertura da solução final. Quando o nível de corte é elevado, maior será a consistência da solução e mais baixa sua cobertura, obtendo assim um *trade off* entre os valores da consistência e da cobertura. Para respaldar a escolha quanto ao nível de corte da consistência, adotou-se a sugestão de Olsen e Nomura (2009). No procedimento preconizado pelos autores, realiza-se uma análise da consistência e da cobertura da solução, levando-se em consideração o nível de corte de consistência para a escolha do ponto de corte mais adequado.

TABELA 5 – Análise da Tabela Verdade

Ano	E	C	G	S	P	Frequência de casos	Nível de corte da consistência	Consistência da Solução	Cobertura da Solução
1990	1	0	0	1	1	2	0,99	0,95	0,95
	0	1	1	1	0	2	0,99	0,94	0,96
	0	1	1	1	1	3	0,92	0,86	0,94
	1	1	1	1	1	6	0,91	0,87	0,87
	1	1	0	1	1	4	0,90	0,80	0,89
	1	1	0	1	0	2	0,87	0,54	0,54
	0	0	1	1	0	2	0,76	0,26	0,29
2000	1	1	0	1	0	2	0,97	0,88	0,88
	0	1	0	1	1	3	0,90	0,71	0,79
	1	1	0	1	1	7	0,87	0,74	0,77
	1	1	1	1	1	3	0,83	0,77	0,77
	1	0	0	1	1	4	0,76	0,33	0,34
2010	1	0	1	1	1	2	1,00	0,98	1,00
	1	1	0	1	0	2	0,93	0,78	0,78
	0	1	0	1	0	3	0,92	0,73	0,74
	1	1	0	1	1	7	0,89	0,74	0,74
	0	1	0	1	1	3	0,87	0,57	0,62
	0	0	0	1	1	5	0,74	0,07	0,07

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

Na Tabela 5, verifica-se que as Tabelas Verdades nos respectivos anos, apresenta os níveis de consistência em uma escala decrescente, sendo que em 2010, o menor nível de consistência encontrado foi 0.74. Em seguida, é possível verificar que nos pontos de níveis de corte há o equilíbrio entre a consistência e a cobertura da solução. Esses níveis para 1990, 2000 e 2010 são, respectivamente, 0.87, 0.83 e 0.87. A escolha destes pontos foi feita tendo como base o nível mínimo (0.80) e considerado ótimo (0.85) por Ragin (2008), e sinaliza uma consistência suficiente para análise das condições causais. Em seguida, verificou-se a diferença substancial entre o nível de ponto de corte da consistência e o seu valor posterior, além dos valores da consistência e cobertura da solução estarem mais equilibrados neste ponto. O equilíbrio entre a consistência e a cobertura da solução é relevante, quando se considera o ponto de corte de consistência, pois este equilíbrio garante a validação da solução, obtendo também a significância empírica e teórica.

Desta forma, após a definição do ponto de corte da consistência, minimizou-se a Tabela Verdade e obteve-se a solução final. Antes das considerações sobre os resultados das soluções finais (Quadro 10), é importante ressaltar que o *software fsQCA* fornece três soluções para

cada análise da Tabela Verdade. São elas: a solução complexa, a solução parcimoniosa e a solução intermediária. A solução complexa reduz minimamente a combinação das condições das variáveis, além de considerar que a ausência de uma variável contribui com o resultado positivo e evita-se o uso de casos contra factuais (*remainders*, linhas sem nenhuma frequência de caso). Já a solução parcimoniosa, permite o uso de combinação de condições que contenham linhas sem nenhum caso, com o objetivo de traçar os caminhos mais suscetíveis à obtenção do resultado pretendido. Em outras palavras, a solução parcimoniosa considera a diminuição da complexidade ao nível mínimo, ponderando também que a ausência de uma variável não contribui para o resultado pretendido (GURGEL; VASCONCELOS, 2012).

Assim, as soluções intermediárias expostas no Quadro 10 serão utilizadas para explicar as configurações causais dos países da amostra. A solução intermediária é construída a partir da verificação das estruturas das condições encontradas pela solução parcimoniosa, pressupondo-se o princípio de multifinalidade. A principal diferença entre as soluções seria o fato de que a solução intermediária requer simplificação do termo da solução pelas justificativas substanciais fornecidas pelo pesquisador (conhecimento teórico e empírico), enquanto a solução parcimoniosa não se limita à premissa do espaço, isto é, utiliza todos os remanescentes lógicos (*remainders* – países com ou sem a presença de condições), sem nenhuma averiguação de sua credibilidade.

Em geral, as soluções intermediárias são as melhores em relação às demais soluções (Olsen e Nomura, 2009; Ragin, 2008), e podem ser visualizadas no Quadro 10. Além disso, tanto as soluções complexas quanto as parcimoniosas podem ser observadas no Anexo D. As diferenças entre os resultados apresentados no Quadro 9 e os resultados do Quadro 10 referem-se à visualização dos grupos de países pertencentes à combinação das condições distintas (com países cujo grau de associação é maior ou igual a 0.5) e ao grau de intensidade pertencente a cada condição. Em outras palavras, a interpretação não se restringe mais à magnitude da condição (maior ou menor) como verificado nos resultados anteriores, porém serão analisadas a presença ou ausência de determinada condição para a ocorrência do resultado (atividade inovativa ambiental).

As soluções intermediárias presentes no Quadro 10 exibem mais de uma solução para cada ano, sendo cada uma delas suficiente para averiguarmos cada resultado, isto é, apresentam elevado nível de consistência (superiores a 0.8) o que indica que a presença de cada uma das condições seria suficiente para a ocorrência da atividade inovativa ambiental. E como já

explicado anteriormente, a solução intermediária além de exibir a equifinalidade e fortes evidências das relações causais com o resultado pretendido, as soluções representam também a importância da interação das condições causais na definição da atividade inovativa ambiental.

QUADRO 10 – Configurações específicas de acordo com a solução intermediária

Ano	Configurações	Cobertura bruta	Cobertura única	Consistência da solução
1990	S*G*C*~e	0,27	0,06	0,94
	P*S*~g*E	0,27	0,02	0,79
	S*~g*C*E	0,43	0,14	0,87
	P*S*G*C	0,30	0,02	0,89
	P*S*G*E	0,38	0,01	0,89
	Cobertura total			0,72
	Consistência da Solução			0,83
2000	P*S*~g*C	0,42	0,08	0,83
	S*~g*C*E	0,53	0,19	0,89
	P*S*C*E	0,42	0,07	0,88
	Cobertura total			0,68
	Consistência da Solução			0,87
2010	S*~g*C	0,69	0,64	0,86
	P*S*G*E	0,13	0,08	1,00
	Cobertura total			0,77
	Consistência da Solução			0,87

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

No ano de 1990, foram computadas 5 (cinco) soluções intermediárias, cuja consistência da (0.83) retrata que a presença dos termos da solução seria suficiente para que ocorressem atividades inovativas ambientais. E a solução da cobertura total (0.72) revela o grau no qual os países que possuem atividade inovativa ambiental também exibem as combinações de condições causais encontradas na solução empírica robusta. Em resumo, a solução de consistência calcula o grau (extensão) em os países compartilham uma determinada condição ou combinações de condições que apresentam o resultado desejado (atividade inovativa ambiental). A solução de cobertura explica a presença de uma combinação causalmente relacionada ao resultado pretendido.

O primeiro termo de solução, no ano de 1990, demonstra que as quatro condições são fortemente combinadas (Consistência da solução = 0.94) por países que possuem adequadas condições de infraestrutura, emissoras de gases poluentes (CO₂), apresentam relevância em produção científica e ainda não utilizam energia alternativa e nuclear. Esta primeira configuração causal possui pouca representatividade empírica, obtendo apenas 27% dos países que respondem positivamente à atividade inovativa ambiental (*cobertura bruta* = 0.27). Além disso, aproximadamente, 6% deles possuem apenas esta configuração causal (*cobertura única* = 0.06). Por outro lado, a configuração de maior representatividade em 1990 (S*~g*C*E), no qual 43% dos casos revelaram que grande parte dos países que produz inovações ambientais exibe condições causais que refletem boas condições de infraestrutura, elevada produção científica e utiliza energia alternativa e nuclear, combinadas com a ausência da condição de emissão de gases. A importância empírica deste resultado é confirmada pelo fato de que 14% dos países analisados possuem esta configuração causal. Entre os países que se enquadram nessa configuração estão: França, Suécia, Espanha, Alemanha, Suíça, República Tcheca (QUADRO 11).

No ano 2000, os três (3) termos de solução apresentaram valores de consistência elevados, sendo os valores de solução da consistência (0.87) e da solução de cobertura (0.68) compatíveis com a presença de atividade inovativa ambiental nos países e sob as condições causais existentes no conjunto das soluções. A combinação que apresentou o maior valor de consistência (0.89) é representada, novamente, por (S*~g*C*E). Neste mesmo ano, houve um aumento dos casos, com 53% (*cobertura bruta*) dos países apresentando esta mesma configuração, com contribuição exclusiva de cada país em 19% (*cobertura única*). Observou-se também que, comparando os dois referidos anos, a condição de ausência da emissão de gases poluentes foi representativa para a realização da atividade inovativa ambiental. Os países que englobam o referido conjunto de condições são: França, Japão, Espanha, Suécia, Alemanha, Coreia do Sul, Suíça, Brasil e Reino Unido (QUADRO 11). As demais soluções, também apresentaram elevados níveis de consistência (0.83) e (0.87), e obtiveram combinações com influência maior sob a presença da condição de desenvolvimento econômico, entretanto, com uma margem pequena de países que possuem apenas esta combinação causal.

Por fim, no ano de 2010, apenas duas soluções apresentaram combinações causais relevantes à realização da atividade inovativa ambiental, sendo que as duas equações apresentaram alto

nível de consistência (0.87) e cobertura (0.77), em comparação às soluções dos demais anos, confirmando também que a presença de cada uma das condições é aceitável para a ocorrência da inovação ambiental. A combinação de condições (P*S*G*E), através da qual obteve-se uma consistência perfeita (1.00), compatibiliza condições como o grau de desenvolvimento econômico, condições infraestruturais, emissão de gases poluentes e a utilização de energia alternativa e nuclear, para explicar a realização da atividade inovativa ambiental nos países. Apresentaram a respectiva configuração: Canadá, Estados Unidos, Noruega e Finlândia.

Todavia, esta combinação possui baixos valores de cobertura bruta (0.13), cobertura única (0.08) e significa uma configuração com pequena frequência de países cuja atividade inovativa ambiental seja plenamente realizada. Já a segunda combinação (S*~g*C), com consistência de 0.86, é altamente representativa, com aproximadamente 70% (*cobertura bruta*) dos países contribuindo significativamente para a atividade inovativa ambiental e com contribuição exclusiva de 64% (*cobertura única*) para o resultado pretendido, revelando uma alta frequência de países que exibem esta combinação.

Ainda em relação à segunda combinação, o grau de desenvolvimento econômico não foi uma condição necessária para a atividade inovativa ambiental. Os países que podem ser enquadrados nesta combinação são: Japão, Reino Unido, Alemanha, França, Itália, Espanha, Holanda, Coreia do Sul, Brasil, China, Suíça, Suécia, Turquia, Bélgica e Polônia. Desta forma, conclui-se que a presença de países em desenvolvimento nesta combinação revela o esforço dessas economias em direção à realização de atividades inovativas ambientais nas últimas décadas. Os países em desenvolvimento em destaque na segunda combinação, apesar de não apresentarem condições plenas de capacidade de produção de energia alternativa e nuclear, apresentaram resultados comparáveis às nações desenvolvidas. Contudo, é notável que os obstáculos e os desafios encarados pelos países menos avançados são mais difíceis que os países desenvolvidos quando se trata do papel primordial do processo inovativo e tecnológico, assim como do desenvolvimento de tecnologias ambientais

A seguir, no Quadro 11, é possível observar os países que se enquadram em cada combinação causal configurada pelas soluções em todos os anos. Os países descritos na relação foram aqueles que obtiveram grau de associação maior que 0.5 para cada combinação das condições causais. Os demais obtiveram um valor abaixo de 0.5 e, portanto, os resultados são mais sensíveis quanto à combinação de suas condições.

QUADRO 11 – Países que integram as configurações na solução intermediária

Ano	Configurações	Composição por países
1990	S*G*C*~e	Holanda, Austrália, Polônia, Dinamarca, Israel
	P*S*~g*E	Suécia, Noruega, Suíça, França, Alemanha, Áustria
	S*~g*C*E	França, Suécia, Espanha, Alemanha, Suíça, República Tcheca
	P*S*G*C	Estados Unidos, Canada, Holanda, Reino Unido, Austrália, Japão, Bélgica, Dinamarca, Finlândia
	P*S*G*E	França, Canadá, Suécia, Japão, Alemanha, Suíça, Estados Unidos, Bélgica, Reino Unido, Finlândia
2000	P*S*~g*C	Japão, Reino Unido, Alemanha, França, Holanda, Itália, Suécia, Suíça, Israel, Espanha
	S*~g*C*E	França, Japão, Espanha, Suécia, Alemanha, Coreia do Sul, Suíça, Brasil, Reino Unido
	P*S*C*E	Canadá, Japão, França, Suécia, Alemanha, Suíça, Estados Unidos, Reino Unido, Bélgica, Espanha
2010	S*~g*C	Japão, Reino Unido, Alemanha, França, Itália, Espanha, Holanda, Coreia do Sul, Brasil, China, Suíça, Suécia, Turquia, Bélgica e Polônia
	P*S*G*E	Canada, Estados Unidos, Noruega, Finlândia

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

A representação dos países exposta no Quadro 11 reflete diversas possibilidades de configurações a partir de diferentes Sistemas Nacionais de Inovação. Com o passar dos anos, nações como Canadá, Estados Unidos, Noruega e Finlândia, ainda que tenham adotado estratégias para o desenvolvimento de tecnologias ambientais, se destacaram pela ausência da condição de emissão de gases poluentes para a realização de atividades ambientais. Por outro lado, observou-se que alguns países em desenvolvimento obtiveram diferentes estágios de configurações, combinando-se com Sistemas de Inovação de diversas características. No ano de 2010, por exemplo, foi um período bem atípico, comparado aos anos anteriores e, o que pode ter sido um reflexo das estratégias utilizadas por alguns países, como o caso daqueles representados pela combinação (S*~g*C) e, de certa forma, representou um grande avanço rumo à redução de emissão de gases poluentes atrelada ao desenvolvimento de inovações ambientais. Entre as economias desenvolvidas que apresentaram esta configuração estão:

Japão, Reino Unido, Alemanha, França, Itália, Espanha, Holanda, Coreia do Sul, Suíça, Suécia, Bélgica e Polônia. Já entre as economias em desenvolvimento estão: Brasil, China e Turquia (QUADRO 11).

Novamente, outro fator relevante verificado nos resultados deve-se ao fato da convergência no número mínimo de configurações das condições ao longo das décadas. Com a possibilidade de identificar os países que participaram das configurações das condições, observou-se que os resultados evoluem em direção a novas perspectivas e mudanças e trajetórias tecnológicas tanto por parte dos países desenvolvidos como as nações em desenvolvimento, embora as últimas ainda tenham uma participação pouco expressiva no desenvolvimento de atividades inovativas ambientais. Em suma, os resultados da Análise Qualitativa Comparativa (QCA) apontaram que houve um avanço quanto à atividade inovativa ambiental ao longo dos três períodos analisados. Por essa ótica, os avanços podem ser justificados tanto pela maior quantidade de países desenvolvidos que abrangem o conjunto de condições causais, quanto pela inserção de países em desenvolvimento: Brasil, China e Turquia. Do mesmo modo, Lanjouw e Mody (1996) já haviam ressaltado o bom desempenho de países em desenvolvimento como a China e o Brasil em relação à produção de inovações ambientais entre os anos de 1970 e 1980.

Outro ponto importante a ser destacado refere-se à condição de emissões de gases poluentes. Essa condição também pode representar o papel das regulações, à medida que induzem iniciativas por parte dos países para a redução de emissões de CO₂. De acordo com os resultados para o ano de 2010, alguns países revelaram interações específicas como a emissão dos gases poluentes, as condições de desenvolvimento econômico, de infraestrutura e de produção de energias alternativas, como foram os casos dos Estados Unidos, do Canadá, da Noruega e da Finlândia. É provável que a presença da condição de emissão de gases poluentes fomente a criação de novos mercados para as tecnologias ambientais e forneça incentivos para os países adquirirem novas tecnologias com a finalidade de mitigar os impactos ambientais (DECHEZLEPRÊTRE *et al.*, 2011). Sob a mesma ótica, os resultados da Análise Qualitativa e Comparativa (QCA) mostram que as configurações que levam à atividade inovativa ambiental são representadas por boas condições de capacidade científica, tecnológica e econômica. Embora avanços técnicos e científicos ocorram em alguns países de Sistemas Nacionais de Inovação Imaturos, o desenvolvimento das inovações ambientais aconteceu com maior frequência e intensidade nos países com maior capacidade inovativa. Nesse caso, é

imprescindível que países com condições e estruturas capazes de fomentar a Ciência e Tecnologia se destaquem com grande representatividade quanto ao desenvolvimento tecnológico ambiental.

Na próxima seção, serão descritos os agrupamentos naturais de países a partir das características em comum entre os diferentes Sistemas Nacionais de Inovação, cujos resultados são gerados pela Análise de *Cluster*. Em seguida, com a análise discriminante, busca-se explorar as diferenças e classificam-se os grupos a partir das suas características para cada ano, com o objetivo de elaborar uma função discriminante. Em outras palavras, a análise discriminante será utilizada para descrever as distinções entre grupos e explorar tais diferenças ao classificar novos países como membros em um dos grupos existentes.

5.2 Análises de *Clusters* e Discriminante: identificação e classificação dos países

As análises de *Cluster* e discriminante, como explicitado no Capítulo 4, 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 6).

TABELA 6 – 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.

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, na qual os resultados podem ser visualizados na Tabela 7 e nos gráficos apresentados no Anexo E. 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).

Como observado, os resultados da Tabela 7 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*⁴⁴. Os resultados dos testes podem ser também observados na Tabela 7. Os testes, após a transformação dos mesmos pela técnica *fuzzy*, mostraram que houve uma melhora significativa nos resultados, aceitando a

⁴⁴ 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).

hipótese de assimetria normal multivariada e de distribuição normal. Os resultados também podem ser visualizados no Anexo F, cujos gráficos referem-se às distribuições normais para todas variáveis *fuzzy*, em todos os anos. Da mesma forma, foram realizados, novamente os testes de *Lawley e Jennrich*, os quais indicaram homogeneidade e simetria nas matrizes de correlação e, em seguida, construíram-se as matrizes de correlação para cada ano (Anexo G), em que se verificam elevadas correlações em grande parte das variáveis *fuzzy* analisadas.

TABELA 7 – Teste para normalidade multivariada

Ano	Testes	Variáveis originais		Variáveis transformadas	
		Valores	P-valor	Valores	P-valor
1990	Mardia Skewness chi2(165)	1042	0,00	171601	0,35
	Mardia Kurtosis chi2(1)	422846	0,00	1363	0,24
	Henze-Zirkler chi2(1)	1907	0,00	3926	0,05
2000	Mardia Skewness chi2(165)	868441	0,00	205916	0,07
	Mardia Kurtosis chi2(1)	247880	0,00	0,25	0,62
	Henze-Zirkler chi2(1)	1515624	0,00	1729	0,19
2010	Mardia Skewness chi2(165)	803454	0,00	192300	0,07
	Mardia Kurtosis chi2(1)	214342	0,00	0,008	0,93
	Henze-Zirkler chi2(1)	724144	0,00	9428	0,05

Fonte: Elaboração própria com base do software Stata 11.0.

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, como explicitado no Capítulo 4. 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.

É oportuno ressaltar que a utilização dos métodos hierárquicos não somente auxilia a definição do número ótimo de agrupamentos, como também contribui na definição das sementes iniciais para a estimação do método não hierárquico. Por intermédio dos resultados dos testes de *Calinski-Harabasz* (Pseudo F) e *Duda-Hart* (Pseudo T^2) apresentados no Anexo I, 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 F^{45} 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*-média⁴⁶.

⁴⁵ O valor da estatística do pseudo F para os quatro agrupamentos pela técnica *k*-média foi de 14,05.

⁴⁶ 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.

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 8.

TABELA 8 – Método de classificação de Lachenbruch (1990)

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.

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 9 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.

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 9 – 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. Em outras palavras, como a caracterização dos grupos abrangem países com regiões econômicas bem similares, assim como a produção tecnológica ambiental, torna-se mais difícil discriminar determinados países de grupos distintos. Com a nova reclassificação, os grupos 1 e 2 estariam mais equilibrados, e

incorporando de certo modo as maiores potências econômicas mundiais, a saber, Canadá, Alemanha, Estados Unidos e Japão, detentoras de Sistemas Nacionais de Inovação maduros.

Após a nova reclassificação dos países (Estados Unidos, Grécia e Polônia), estimaram-se novamente as probabilidades de reclassificação de Lachenbrouch. 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 10 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.

Comparando-se os resultados da análise de *clusters* com os grupos de países formados a partir das soluções intermediárias da análise qualitativa comparativa (QCA) (Quadro 11), observa-se que as características e a divisão entre os grupos são semelhantes, em alguns aspectos. Como no caso dos países desenvolvidos do Grupo 2 e cuja solução intermediária foi representada por (S*G*C*~e). As economias da respectiva solução e do grupo 2, como: Holanda, Austrália, Dinamarca e Israel, estão de acordo com as interações sistemáticas que conduzem à inovação ambiental e, para o ano de 1990, apresentavam padrões elevados de emissão de gases (G), como mostra o valor médio da Tabela 10. Logo, para este ano as economias deste grupo exibiram dimensões peculiares a produção tecnológica ambiental,

onde as infraestruturas científicas e econômicas configuraram conjuntamente um ambiente propício ao desenvolvimento das inovações ambientais.

TABELA 10 – 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.

Uma vez definido os grupos ajustados pela análise discriminante, foi possível utilizar as mudanças das características das observações para os demais anos. 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 11 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 11–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 (0.0%)	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 12 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 12 – Probabilidades de reclassificação (%) de certos países (2000)

Países	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
	(a)	(a)	(a)	(a)
Bélgica	3,0	26,2	0,0	70,8
Coréia 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 12) dos países (Cuba e Rússia) no grupo 3 (Quadro 12), 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 13 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, Coréia 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 13 – 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 13. 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.

Por fim, para o ano de 2010, os resultados da Tabela 14 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.

TABELA 14–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.

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.

A partir dos resultados de reclassificação para o ano de 2010 (TABELA 15), 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 15 – Probabilidades de reclassificação (%) de certos países (2010)

Países	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
	(a)	(a)	(a)	(a)
Coréia 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 16, 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.

Por sua vez, as economias em desenvolvimento como a Rússia, que em 1990 encontrava-se no Grupo 4, migrou para o Grupo 2 em 2010, equiparando-se com os resultados das maiores potências mundiais presentes neste novo grupo. A economia chinesa também foi destaque entre os países em desenvolvimento, que se manteve no Grupo 2 em todos os anos analisados. Vale lembrar que, de acordo com o resultado apresentado pela técnica QCA no ano 2010, a China demonstrava sinais de que seus esforços quanto ao desenvolvimento de inovações ambientais já estavam em ritmo acelerado e bem avançado, com um grau tecnológico compatível às nações desenvolvidas.

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.

TABELA 16 – 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.

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 16), 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. O ponto principal dessa mudança foi que as inovações ambientais podem ser consideradas como um poderoso instrumento indutor do desenvolvimento dos Sistemas Nacionais de Inovações (CARRILLO-HERMOSILLA *et al.*, 2010). Além disso, confirmou-se, por intermédio dos resultados, que o determinante mais importante da inovação ambiental é a capacidade inovativa geral.

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.

Desse modo, a abordagem sobre Sistemas Nacionais de Inovação em relação às atividades inovativas ambientais dos países permite apresentar quais as deficiências e os obstáculos, principalmente dos países em desenvolvimento, quanto aos limites do progresso tecnológico para a solução dos problemas ambientais. Contudo, devem-se ressaltar os esforços dos países em desenvolvimento que, ao longo das duas últimas décadas, seguiram em direção a um maior desenvolvimento tecnológico ambiental, pois essas economias também são responsáveis por grande parte dos recursos naturais mundiais (QUEIROZ, 2011). Seria

exatamente nesse ponto que os Sistemas Nacionais de Inovação poderiam intervir, isto é, dinamizando e contribuindo para que as características nacionais se fortaleçam e tenham um papel preponderante na constituição de um novo paradigma tecnológico ambiental.

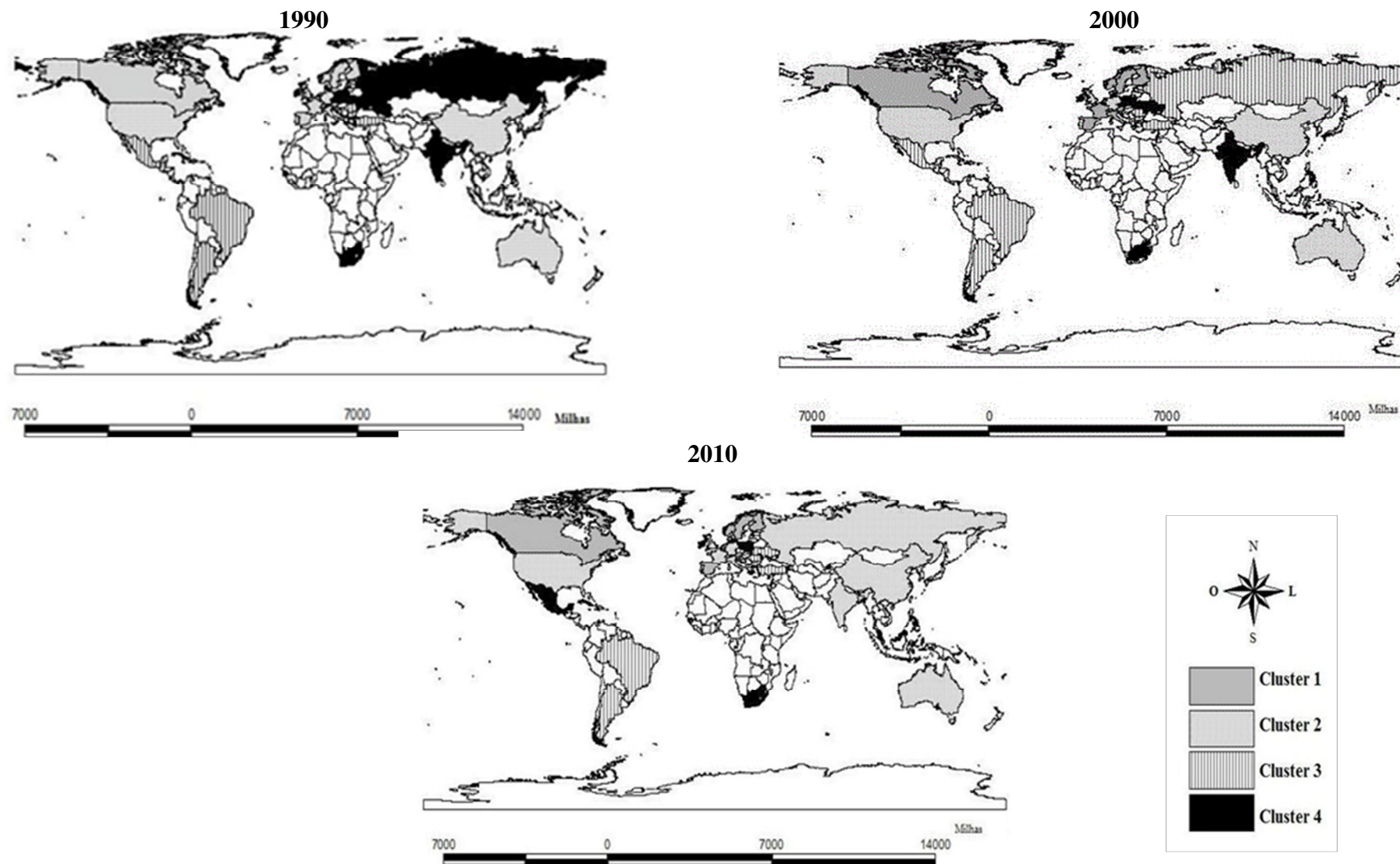
O Quadro 12 fornece todas as classificações finais das economias mundiais em estudo desta tese para cada ano, após as reclassificações realizadas com o auxílio da técnica de análise discriminante. Na Figura 2, são sintetizados todos os grupos de países formados pela análise de *Cluster* e reconfigurados pelas análises discriminantes tratadas ao longo deste capítulo. 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 12 – 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	Polônia	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 2 – 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.

5.3 Considerações Finais

O conjunto de métodos utilizados neste capítulo representou um esforço em compreender e analisar o desempenho dos países da amostra quanto ao desenvolvimento tecnológico ambiental, atrelado a uma combinação de variáveis cujas características refletiram a configuração inerente aos grupos de países. Os resultados da Análise Qualitativa Comparativa (QCA) confirmaram que as atividades tecnológicas ambientais são condicionadas, principalmente pela boa infraestrutura científica, estrutural, pelo alto nível de desenvolvimento econômico, pela capacidade de produção das energias alternativas. Além disso, nos anos de 1990 e 2000, observou-se que em grande parte das combinações causais ainda não se observava o fator de emissão de gases poluentes, uma questão preponderante para a atividade inovativa ambiental dos países. Somente no ano de 2010, os conjuntos de condições apontaram que além dos fatores apresentados nos anos de 1990 e 2000, as emissões de gases poluentes foram um elemento condicionante à produção tecnológica ambiental. Tal resultado evidencia a importância do papel das regulações das emissões sobre o desenvolvimento tecnológico ambiental.

Os resultados da Análise Qualitativa Comparativa (QCA) também mostraram que países como: França, Suécia, Reino Unido, Alemanha, Espanha e Holanda se adequaram, de acordo com as condições disponibilizadas, para estabelecer um ambiente favorável à produção tecnológica sem que as elevadas emissões de poluentes fossem uma condição determinante. Neste aspecto, a partir da investigação preliminar dos fatores condicionantes à atividade tecnológica ambiental, torna-se importante investigar detalhadamente o papel da ciência e da tecnologia e o conjunto de fatores que satisfazem a ação dos países em inovarem ambientalmente.

As análises referentes aos agrupamentos dos países com características semelhantes foram também analisadas pelas metodologias de análises de *clusters* e discriminante. No entanto, além da inclusão de algumas variáveis como as tecnologias depositadas pelo inventor e autor das patentes ambientais, houve o aumento do consumo das energias renováveis, comprovando que a capacidade de produção dessas tecnologias a curto e médio prazo foi compatível ao avanço das inovações ambientais. Relacionando-se os resultados de todas as metodologias aplicadas, é possível observar algumas semelhanças quanto às características, aos aspectos e ao comportamento dos países ao longo do tempo. Nesse caso, países que se enquadraram em determinadas condições são os mesmos que aparecem entre os agrupamentos 1 e 2, composto

em sua maioria por países desenvolvidos, por exemplo, França, Holanda, Alemanha e Reino Unido. Para os países supracitados, além dos demais incluídos nesse grupo (1 e 2), o desenvolvimento da capacidade tecnológica ambiental também está atrelado a impactos ambientais negativos, como o aumento gradual das emissões de gases poluentes ao longo dos anos. Por outro lado, países em desenvolvimento apresentaram menor proporção de emissões de gases poluentes, mas países que compõem os grupos 3 e 4, como o Brasil, África do Sul, Cuba, Turquia, México e Grécia mantiveram aspectos característicos de Sistemas Nacionais de Inovação imaturos e com baixos níveis de desenvolvimento econômico e de infraestrutura científica e tecnológica. Outros países em desenvolvimento obtiveram destaque quanto ao desempenho de suas características intrínsecas. A China, por exemplo, manteve-se no Grupo 2 em todos os períodos que localizam as economias mais desenvolvidas mundialmente. Em relação à Rússia e à Índia, ambos os países apresentaram características de Sistemas Nacionais de Inovação imaturos, mas obtiveram mudanças estruturais em seu perfil inovativo, migrando para o grupo 2, no ano de 2010.

O objetivo da análise empírica realizada anteriormente foi o de identificar elementos e condições que promovam o desenvolvimento tecnológico ambiental e observar o desempenho do conjunto de países a partir das características inseridas na análise, que englobam as dimensões científica, tecnológica, ambiental e infraestrutura. Ressalta-se que a análise realizada neste capítulo possui perfil exploratório, em outras palavras, é necessário que se investigue detalhadamente os fatores determinantes às inovações ambientais e, principalmente, em que medida as regulações e outros instrumentos que mitiguem o impacto ambiental possam determinar uma resposta tecnológica dos países. No próximo capítulo, serão elaboradas as Matrizes de Ciência e Tecnologia (C&T), no intuito de aprofundar o entendimento sobre as relações entre as inovações ambientais e as diferentes áreas científicas e tecnológicas bem como analisar qual a dimensão das assimetrias tecnológicas ambientais existentes entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento.

6 MATRIZES DE INTERAÇÃO ENTRE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

No capítulo 5, observou-se que há uma heterogeneidade inerente às características dos países, principalmente quanto à fragilidade dos padrões científicos, econômicos e ambientais dos países em desenvolvimento. A contribuição das matrizes ambientais, tendo em vista os resultados do aumento do patenteamento ambiental verificados no Capítulo 3, e as diferenças estruturais dos padrões tecnológicos ambientais ao longo do tempo (Capítulo 5) referem-se a uma análise mais específica da capacidade tecnológica dos países, levando-se em conta a natureza das relações entre Ciência e Tecnologia e a magnitude das interações entre os campos científicos e tecnológicos para o progresso tecnológico ambiental. Em síntese, as matrizes contribuirão para especificar os sistemas de inovação maduros e imaturos quando as patentes ambientais são avaliadas em detalhe, do ponto de vista da interseção entre ciência e tecnologia.

Neste capítulo, serão apresentados a metodologia e os resultados das Matrizes de Interação entre Ciência e Tecnologia (C&T), sendo que um dos principais objetivos da utilização desse método é identificar a interação e as assimetrias existentes entre os subdomínios tecnológicos e os campos científicos dos países dos grupos BRICS e G7, nos anos 1990, 2000 e 2010. Os resultados observados por intermédio das matrizes permitirão avaliar o preenchimento das células, a altura e a extensão das interações e das interrelações do grau da capacidade tecnológica ambiental entre os países, além de indicar quais os possíveis Sistemas Nacionais de Inovação (SNIs) que convergem para novas trajetórias tecnológicas e áreas relacionadas às fronteiras tecnológicas ambientais.

6.1 Construção das Matrizes de Interação entre Ciência e Tecnologia

O conteúdo científico das tecnologias tem aumentado ao longo do tempo, isto é, ele está cada vez mais dependente de suas interações com o desenvolvimento científico. Para a criação das tecnologias ambientais o quadro é semelhante, exigindo-se muitas pesquisas, publicações e estudos científicos entre os agentes e instituições envolvidas. De fato, para a produção de tecnologias ambientais há de se usar intensamente os laboratórios de universidades e institutos de pesquisa. Seria exatamente nesse ponto que o papel dos Sistemas Nacionais de Inovação se enquadra, isto é, presume-se dos SNIs o fortalecimento e o maior envolvimento entre os

agentes e instituições em prol do desenvolvimento de novas tecnologias ambientais (MOWERY *et al.*, 2010).

Nesse sentido, a principal contribuição do uso das matrizes frente aos métodos utilizados anteriormente seria quanto à representação das informações mais específicas em relação aos campos de ciência e engenharia, relevantes à geração da capacidade tecnológica dos países. A profundidade e a configuração das áreas de C&T nas matrizes de interação, assim como suas conexões com subdomínios tecnológicos evidenciados pelas informações das patentes revelarão o comportamento e o desempenho dos países em estudo nos períodos de análise (1990, 2000 e 2010). Além disso, a análise das diferenças entre as capacidades tecnológicas dos diversos países permitirá apontar quais os subdomínios tecnológicos mais relevantes à produção de tecnologias ambientais ao longo do tempo. Em outras palavras, quais áreas de ciência e engenharia são capazes de impulsionar o desenvolvimento tecnológico ambiental.

Portanto, para uma investigação mais específica sobre como os diferentes padrões de crescimento tecnológico ambiental diferenciam-se e são representados ao longo das três décadas, foi necessário delimitar a amostra de países. A partir da amostra original com quarenta (40) países, selecionaram-se aqueles mais representativos dos principais blocos econômicos dos países desenvolvidos (G7) e dos países em desenvolvimento (BRICS)⁴⁷. A escolha permitirá ilustrar detalhadamente os diferentes níveis de desenvolvimento tecnológico ambiental. Ademais, os resultados possibilitarão averiguar quais os esforços das nações que possuem Sistemas Nacionais de Inovação imaturos e incompletos, como é o caso do Brasil, Índia, África do Sul em relação ao desenvolvimento e interações entre as áreas científicas e tecnológicas. A análise das configurações desses países possibilitará, sobretudo, identificar aqueles que ao longo dos anos obtiveram um *catching up*, passando para um estágio superior de interação entre as dimensões científicas e tecnológicas, compatíveis a determinados estágios de capacidade tecnológica dos países desenvolvidos.

Outro fator chave inerente à presente metodologia, refere-se à questão qualitativa das patentes. Nas metodologias anteriores, utilizou-se somente o quantitativo de patentes, isto é, a quantidade de patentes por ano, de acordo com cada nação. Na metodologia das matrizes de interação C&T, a qualidade das patentes⁴⁸ é um fator preponderante na representação gráfica

⁴⁷ Os países que compõem o grupo G7 são: Estados Unidos, Alemanha, Canadá, França, Itália, Japão, Reino Unido. Em relação ao grupo BRICS, este é composto pelos países: Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.

⁴⁸ A qualidade das patentes descrita refere-se à maior base científica da patente.

entre as conexões das áreas de Ciência e Engenharia. Sendo assim, a propagação e a robustez das interações entre os campos da Ciência e Engenharia e dos domínios tecnológicos mostrados pelas matrizes fornecem informações qualitativas que complementam e enriquecem as informações quantitativas configuradas pelos tradicionais métodos estatísticos de patentes (RIBEIRO *et al.*, 2010).

Em resumo, a ferramenta de análise proposta na metodologia das matrizes visa a identificar certas áreas tecnológicas e averiguar quais as áreas de ciência e tecnologia respaldam e apoiam o desenvolvimento das tecnologias ambientais. Ademais, o instrumento de análise das matrizes fornece subsídios que auxiliam na formulação de políticas e possibilitam relacionar diversos aspectos importantes na identificação de áreas estratégicas ao fomento da capacidade tecnológica ambiental e ao fortalecimento dos respectivos SNIs. Entre esses aspectos, é possível elencar alguns elementos significativos, de acordo com os resultados que serão apresentados, entre eles:

- a) representação gráfica, por intermédio das matrizes, possibilitará diferenciar SNIs maduros e imaturos;
- b) abordagens sobre quais países realizaram o processo de *catching up*, de acordo com os diferentes padrões de desenvolvimentos tecnológicos ambientais entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento;
- c) identificação de desenvolvimentos tecnológicos ambientais diferenciados e heterogêneos, que poderiam evidenciar certos bloqueios e escassas conexões entre as áreas científicas e tecnológicas de determinados países.

No próximo item, serão apresentadas as principais referências do ponto de vista metodológico em que se respalda a interpretação e o mapeamento das conexões entre as matrizes de interação de Ciência e Tecnologia dos Sistemas Nacionais de Inovação.

6.1.1 Revisão de literatura sobre as matrizes de Ciência e Tecnologia (C&T)

A metodologia sugerida neste item permitirá mapear as conexões entre a ciência e a tecnologia, nos diferentes Sistemas Nacionais de Inovação em um enfoque tecnológico ambiental. Para tanto, é necessário ressaltar alguns pontos já elaborados pela literatura da área e seus avanços empíricos para a construção das matrizes de interação. Os trabalhos pioneiros

foram elaborados por Narin e Noma (1985) e Narin *et al.* (1997), nos quais os autores destacam as citações da literatura científica inclusas nas patentes como um meio eficaz de estabelecer as relações entre C&T, e conexões entre os campos da Ciência e Engenharia (C&E).

Nesse sentido, o alicerce empírico para a consecução das matrizes advém das correntes teóricas sobre Sistemas Nacionais de Inovação (Freeman, 1995; Nelson, 1988; Lundvall, 1995), além do papel das instituições de pesquisa e universidades incluídas nos SNIs. A abordagem da corrente evolucionária é extremamente propícia neste aspecto; em outras palavras, o crescimento econômico, atrelado às mudanças tecnológicas, permite mudanças em direção a trajetórias tecnológicas ambientais, paralelamente ao desenvolvimento econômico dos países.

Ademais, a importância das interações entre C&T para o desenvolvimento dos países, a partir do momento em que se ampliam os incentivos aos múltiplos canais de interação entre a infraestrutura científica, a produção tecnológica e o crescimento econômico, também foram discutidos por Bernardes e Albuquerque (2003), Ribeiro *et al.*, (2006 a, b). Nos trabalhos supracitados, destacou-se o desenvolvimento de países e sua relação com as múltiplas conexões entre C&T. Concluiu-se que quanto mais evoluída for uma nação, maior o número de conexões e interações operando.

Em contrapartida, na medida em que o crescimento econômico aumenta causado pelos investimentos em recursos científicos e tecnológicos, o desenvolvimento também é acometido. A resposta dos efeitos entre as interações e conexões de C&T explica porque o crescimento econômico é incentivado pelas fortes capacidades científicas e tecnológicas dos países (RIBEIRO *et al.*, 2010). Do mesmo modo, Mazzoleni e Nelson (2007) destacaram que no caso dos países em desenvolvimento, o processo de *catching up* é fundamentado também pelas interações entre universidades e instituições de pesquisa aliadas ao processo industrial. Outro exemplo mais complexo e robusto sobre diferentes padrões de desenvolvimento associados às diferentes conexões e interações de C&T foi elaborado por Ribeiro *et al.* (2010), cujos autores utilizaram patentes concedidas pelo escritório americano (USPTO), e nelas são citados trabalhos científicos e outras referências, por meio dos quais é possível avaliar uma grande assimetria entre as conexões existentes de C&T nos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Como observado, a contribuição da literatura sobre as matrizes de interação é bastante ampla e grande parte das informações necessárias para a elaboração das mesmas origina-se das referências presentes em diversas categorias como citações presentes em livros, patentes, revistas científicas, textos e relatórios técnicos, de acordo com as fontes de conhecimento relacionadas às engenharias, e que também são chamadas de referências não-patentes. A questão chave para a investigação das citações da literatura de ciência e engenharia e suas relações com a ciência e tecnologia envolvem o quanto a intensidade da ciência está associada às inovações que se transformaram em patentes.

As ferramentas disponíveis para avaliar essas conexões sejam elas as investigações diretamente sobre transferências tecnológicas das universidades e instituições de pesquisa para firmas (FREEMAN; SOETE, 1997), questionários sobre grupos de pesquisas de universidades e suas interações com as firmas (RAPINI, 2007) e estudos baseados na co-localização geográfica de patentes e artigos (ZITT *et al.*, 2003), por exemplo, direcionam-se para um caminho em que a tecnologia e a ciência encontram-se cada vez mais enraizadas e explicam o desenvolvimento econômico dos países. Em suma, os esforços da literatura sobre as conexões entre Ciência e Tecnologia revelam o papel das capacidades científicas domésticas para as capacidades tecnológicas (RIBEIRO *et al.*, 2010).

Assim, a partir das inúmeras possibilidades e questões envolvidas, as conexões e interações entre a Ciência e Tecnologia (C&T), a pesquisa realizada nesta tese diferencia-se pelo enfoque multidisciplinar associado às tecnologias ambientais. Em outras palavras, por intermédio das matrizes de C&T, analisando-se também três distintos períodos de tempo, será possível comparar os países selecionados intertemporalmente, investigando suas assimetrias tecnológicas ambientais em relação às conexões de C&T. Da mesma forma, é oportuno ressaltar que este instrumento de pesquisa é o mais adequado para investigar a capacidade tecnológica ambiental e suas interações entre C&T, principalmente para comparabilidade de diferentes SNIs.

A seguir, serão descritos todos os procedimentos para a elaboração das matrizes com base no trabalho de Ribeiro *et al.* (2010). Entre os processos, estão a especificação dos campos referentes às áreas científica, tecnológica e de engenharia, assim como a importância do uso deste método na identificação dos diferentes padrões de capacidade tecnológica ambiental.

6.1.2 Construção dos Indicadores a Partir das Matrizes de Interação

A primeira etapa para a elaboração do conjunto de dados foi realizada pela busca de informações de todas as patentes registradas na base de dados (Patstat). A referida base de dados do escritório europeu (EPO) conta com as informações de depósitos e registros do próprio escritório e em mais de 30 escritórios pelo mundo, totalizando cerca de 6.142.400 patentes apenas para os anos de 1990, 2000 e 2010. Para tanto, serão pesquisadas na base de patentes depositadas nos respectivos anos, informações a respeito de cada patente: (a) número da patente na base Patstat; (b) País do primeiro inventor; (c) Classificação Internacional de Patente (IPC); (d) Escritório em que foi depositada a patente; (e) Data do seu depósito; (f) Referências científicas de não patentes. A pesquisa contou, ao todo, com 500.801 patentes ambientais depositadas, que foram extraídas da base de dados Patstat, somente nas autoridades dos países de acordo com a seguinte distribuição: 87.544 (no ano de 1990); 176.458 (em 2000) e 236.799 (em 2010). É válido ressaltar que a riqueza de informações contidas na base EPO permitirá explorar ao máximo todo o conteúdo disponibilizado no momento do depósito de uma patente, como já especificado no capítulo da base de dados.

O segundo passo consistiu no tratamento da base de dados, com todas as necessárias adaptações e ajustes referentes aos nomes dos países, assim como seus códigos, completude de todos os campos e verificação das informações extraídas. Por fim, antes da terceira etapa que se caracteriza pela construção das matrizes de interação, foi necessário definir os domínios tecnológicos. Para tanto, utilizou-se um algoritmo que converte o código de classificação tecnológica (classe e subclasse) e o transforma de acordo com os 30 domínios tecnológicos adotados pelo *Observatoire des Sciences et des Techniques* (OST).⁴⁹

Mais especificamente, as interações e as atribuições quanto às classes tecnológicas contidas no processo de registro da patente podem ser convertidas nos subdomínios tecnológicos propostos pelo OST. O texto descrito pela patente também cita artigos científicos publicados em revistas, jornais ou periódicos (indexados ou não), as chamadas referências não-patentes, que permitem identificar as citações usadas para produzir a inovação patenteada.

Para a definição dos campos de Ciência e Engenharia foi desenvolvido um processo mais complexo. O procedimento consistiu na conversão das referências de não-patentes em 27 campos de Ciência e Engenharia (C&E), definidos pelo *Institute for Scientific Information*

⁴⁹ Tal classificação de acordo com o OST e o ISI pode ser visualizada no Anexo J.

(ISI) e envolveu uma análise léxica (BASSECOULARD; ZITT, 2004). Desse modo, a conversão é configurada entre a área científica definida pelo ISI e a definição associada à palavra-chave ou expressões que caracterizam determinada área, sendo possível a conexão da citação da patente para uma área de ciência e engenharia, quando uma das palavras-chave é obtida no corpo da referência. Portanto, a realização da conexão é estabelecida quando o verbete correspondente a uma área específica definida pelo ISI e o seu “significado” representado por palavras-chave ou expressões que constam no dicionário, configuram-se univocamente o campo de C&E correspondente.

A interpretação das conexões e interações entre a C&T é feita a partir de duas conversões (OST e ISI), mediante a identificação de todos os pares de interação entre o subdomínio tecnológico e área científica (ANEXO J). Sendo assim, a identificação correspondente de uma interação entre um subdomínio tecnológico e uma área de ciência e engenharia constitui a célula de uma matriz representada nos gráficos projetados no próximo item. Essa interação ocorre de maneira que se o subdomínio tecnológico X interage com a área científica e engenharia Y , indicando que para o desenvolvimento da tecnologia específica X houve a necessidade de conhecimento científico desenvolvido na área Y .

Para uma melhor visualização e interpretação quanto aos resultados das matrizes tecnológicas, será elaborada uma análise quantitativa mais aprofundada, tendo como base os indicadores propostos por Ribeiro *et al.* (2010). Para tanto, serão elaborados três indicadores: o Índice de Preenchimento da Matriz, o Índice de Rugosidade e a Correlação Intertemporal das matrizes, que serão explicitados individualmente a seguir.

De acordo com o primeiro indicador, será possível demonstrar o nível geral entre as interações de Ciência e Tecnologia em um determinado país. A configuração de uma célula vazia representa a ausência de interação entre um subdomínio tecnológico (OST) e uma disciplina científica (ISI). Com a identificação do nível do preenchimento das matrizes tecnológicas ambientais será possível indicar a capacidade e a diversidade das interações tecnológicas com o peso, ou melhor, a ponderação da ciência para o progresso tecnológico ambiental. Desta forma, o Índice de Preenchimento da Matriz (IPM) será construído da seguinte forma:

$$F(M) = \sum_{i=1}^{27} \sum_{j=1}^{30} \frac{\delta_{ij}}{27 * 30} \quad (16)$$

em que $\delta_{ij} = 0$ se $M_{ij} = 0$ ou $\delta_{ij} = 1$ se $M_{ij} > 0$, e M_{ij} é o número de citações de uma célula da matriz na qual a linha i (representa os subdomínios tecnológicos) e a coluna j (representa as classes científicas). O denominador refere-se ao produto entre o número de colunas e linhas para cada matriz.

O segundo indicador mensura a espessura, o grau de interações sob a superfície da matriz. Este índice é necessário para diferenciar as células não vazias daquelas que contêm qualquer interação, uma vez que podem existir células com apenas uma ou mais de uma citação. Nesse caso, esse indicador combina ambos os níveis de preenchimento das matrizes e o número de citações na matriz. Também chamado como Índice de Rugosidade (ω), sua construção é representada como:

$$\omega^2(M) = \frac{\sum_{i=1}^{27} \sum_{j=1}^{30} (M_{ij} - \bar{M})^2}{27 * 30} \quad (17)$$

em que M_{ij} é o número de citações de uma célula da matriz na qual a linha i (representa os subdomínios tecnológicos) e a coluna j (representa as classes científicas); \bar{M} representa a altura média da matriz e o denominador refere-se ao produto entre o número de colunas e linhas para cada matriz.

Finalmente, o terceiro indicador, denominado como indicador de correlação intertemporal revela a comparação intertemporal entre períodos. Este indicador apresenta ambas as mudanças relacionadas ao nível de preenchimento da matriz, mudanças na altura das células e mudanças nos rankings dos picos. O indicador de correlação intertemporal é um meio de organizar as matrizes de uma maneira em que é possível compará-las intertemporalmente, sendo que o objeto desta comparação se refere às superfícies das matrizes. Neste caso, quando duas superfícies das matrizes forem idênticas, a correlação deve ser igual a 1 (um). Quanto mais próximas de 1 (um), mais semelhantes serão, ou seja, mais similares serão seus níveis de preenchimento da matriz, a altura das células da matriz e a localização dos picos de determinada matriz.

A correlação intertemporal entre as matrizes é o coeficiente de correlação $R_{M,M'}$, entre as interações de ciência e tecnologia das matrizes M e M' :

$$R_{M,M'} = \sum_{i=1}^{27} \sum_{j=1}^{30} \frac{(M_{ij} - \bar{M})(M'_{ij} - \bar{M}')}{\omega(M) * \omega(M')} \quad (18)$$

Em resumo, os três indicadores apresentam importantes configurações a respeito dos resultados das matrizes ano a ano: 1º a estrutura da matriz tecnológica ambiental (preenchimento, altura e grau de interações tecnológicas e científicas); 2º. dinâmica e evolução das capacidades ambientais ao longo do tempo. O foco da aplicação da metodologia de matrizes de interação entre ciência e tecnologia (C&T), baseada nos algoritmos desenvolvidos por Ribeiro *et al* (2010), será investigar as interações entre as áreas de C&T, através da introdução da classificação de patentes ambientais. Nesse sentido, a metodologia tem por objetivo identificar a natureza das relações entre ciência e tecnologia ambiental nos diversos SNIs, isto é, relacionar e investigar as interações e assimetrias tecnológicas. A partir dessas assimetrias, será possível observar qual o peso da ciência para o progresso tecnológico ambiental e para as bases científicas nacionais.

Do mesmo modo, a partir das análises das matrizes de interação de C&T, será possível perceber a evolução e o desempenho do conteúdo científico e tecnológico das inovações ambientais ao longo do tempo. Em outras palavras, busca-se extrair e identificar quais as interações e subdomínios tecnológicos relevantes ao desenvolvimento tecnológico ambiental nos grupos BRICS e G7, no período analisado. A elaboração das matrizes permitirá expor os desafios tecnológicos ambientais colocados tanto para as nações desenvolvidas quanto para as economias em desenvolvimento nas últimas três décadas.

6.2 As dimensões dos paradigmas ambientais nas Matrizes de Interação

As matrizes de Ciência e Tecnologia (C&T), conforme explicitado no capítulo metodológico, têm por objetivo avaliar o conjunto de países dos grupos BRICS e G7, como uma tentativa de identificar diferenças e similaridades das capacidades tecnológicas ambientais, entre diferentes grupos de países. De um modo mais específico, o papel das complementariedades e das interações entre os diferentes tipos de Sistemas Nacionais de Inovação, além do escopo das capacitações tecnológicas ambientais entre os países serão representadas por intermédio das matrizes de C&T.

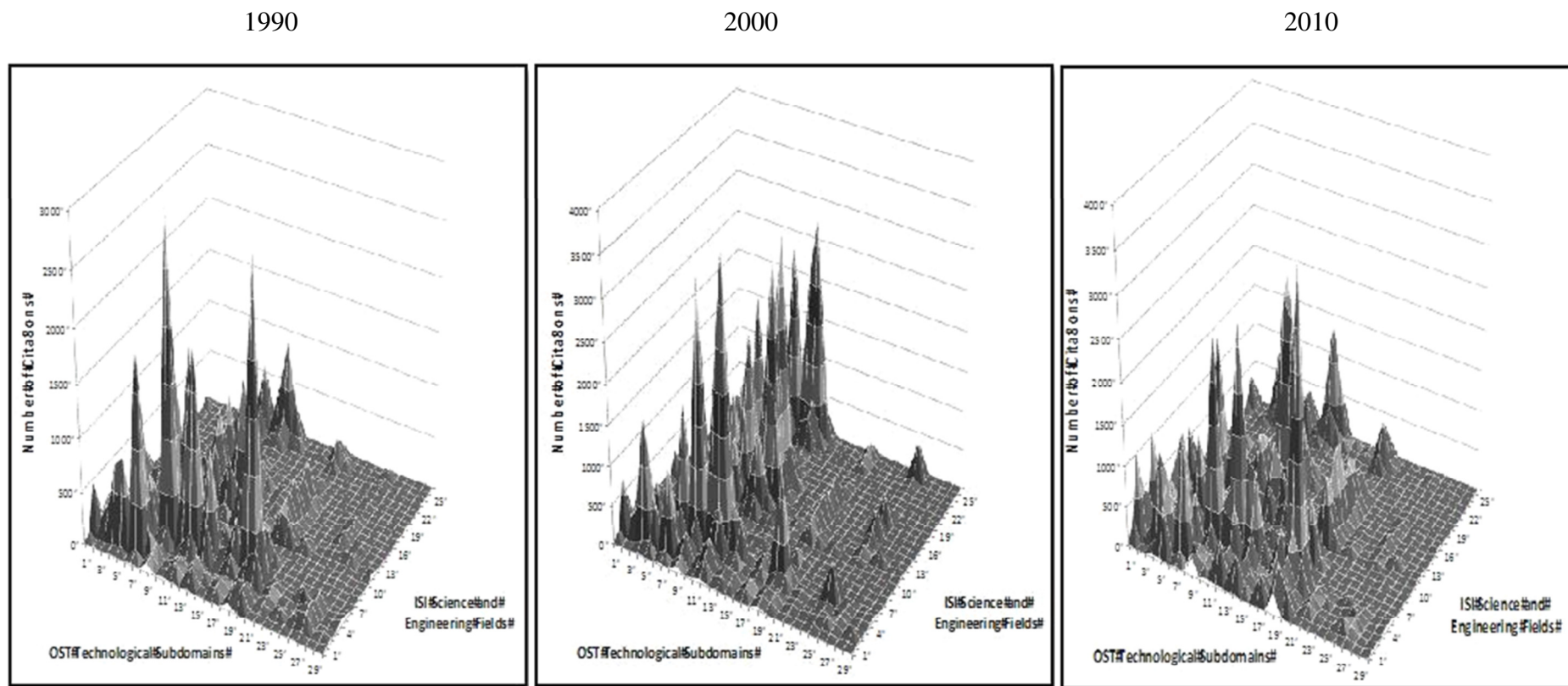
Comparando-se os resultados das metodologias anteriores (Análise Quantitativa Comparativa (QCA) e Análise de *Clusters* e Análise Discriminante), as matrizes de C&T destacam-se pelas

possibilidades de visualização dos diferentes níveis de desenvolvimento tecnológico ambiental dos países. Além disso, a partir do momento em que é possível mapear as interações entre os campos científicos e tecnológicos, a análise torna-se mais detida pela mensuração do grau de capacidade tecnológica ambiental dos respectivos grupos de países. De acordo com as análises empíricas realizadas anteriormente, a valiosa integração de bases de dados referentes aos diversos níveis de desempenho econômico, de emissão de gases poluentes, produção e uso de energia renováveis e alternativas, foi possível observar uma série de diferentes configurações das condições que viabilizam e promovem as inovações ambientais.

Nesse ponto, as matrizes de ciência e tecnologia representadas pelas patentes das autoridades depositadas em seus respectivos países se destacam pela profunda análise das interações entre os campos da ciência e tecnologia o que contribuirá para o entendimento das configurações, além da dimensão das assimetrias da capacidade tecnológica ambiental presente nos SNIs. Os esforços desses países representados pelas patentes ambientais e suas configurações espaço-temporais permitem não somente avaliar o direcionamento das trajetórias tecnológicas ambientais, como também indicarem o movimento e as tendências para novas fronteiras das trajetórias tecnológicas. Os resultados e os indicadores tecnológicos ambientais construídos por intermédio das matrizes avaliaram quais os níveis de capacidade tecnológica ambiental mais influenciaram e produziram as interações entre a C&T.

Como ponto de partida, as matrizes mundiais de interação entre C&T, apresentadas na Figura 3, fornecem alguns subsídios sobre as características principais do processo de desenvolvimento tecnológico ambiental como um todo, como por exemplo, quais áreas científicas estariam mais relacionadas às patentes ambientais. Em primeiro lugar, o principal ponto observado na Figura 3 foi o nível de preenchimento das células matriciais, que obteve um crescimento de 60% em relação às duas primeiras décadas (1990 e 2000) e, posteriormente, uma diminuição de 2,72% em relação aos anos 2000 e 2010.

FIGURA 3 – Gráficos de Interação Ciência e Tecnologias Mundiais



Fonte: Elaboração Própria. Nota: *Number of Citations* = Número de Citações; *OST Technological Subdomains* = refere-se aos 30 Domínios Tecnológicos; *ISI Science and Engineering Fields* = representa os 27 campos de Ciência e Engenharia.

O considerável preenchimento das células entre os anos 1990 e 2010 revela a configuração de um nítido processo de crescimento sustentado ao longo dos anos, não somente pelo aumento da quantidade de patentes ambientais, mas também pela qualidade das interações entre C&T. A amplitude das inovações ambientais e a qualidade das patentes são verificadas na evolução das configurações das matrizes. E os novos paradigmas tecnológicos observados ao longo do tempo traduzem o significado do conteúdo científico das inovações ambientais.

De acordo com a visualização das matrizes globais de interação C&T (FIGURA 3), fatores como o estável preenchimento das matrizes, o crescimento de diversificação de áreas científicas e domínios tecnológicos, além do aumento da altura das células representam significativas mudanças nas áreas e domínios de C&T, como também a propensão para o surgimento de novos paradigmas tecnológicos ambientais. Sobre esta afirmativa, Albuquerque (2009) alerta sobre as mudanças e assimetrias tecnológicas existentes entre os países. Para o autor, as necessidades de mudanças dos padrões atuais de consumo não sustentáveis e dos métodos de produção, são também responsáveis pela rápida difusão de alternativas tecnológicas, como as tecnologias ambientais.

Como foi possível verificar, no ano de 1990 houve uma forte concentração de áreas científicas e tecnológicas ligadas aos campos de Engenharias e Química. Já a partir do ano 2000, as mesmas áreas continuam tendo destaque entre as interações, mas são notáveis as mudanças nos campos e domínios da C&T e a importância das respectivas áreas no ranking nos demais anos (2000 e 2010). Ressalta-se nesse caso, um crescimento na importância das tecnologias relacionadas às áreas de Alimentos e relacionadas também às áreas de Saúde e Biotecnologia, verificadas entre os anos de 1990 e 2010.

Da mesma forma, quando se expande a análise para a base tecnológica de setores como Biotecnologia e outros relacionados às tecnologias ambientais, há indícios de um maior dinamismo tecnológico, isto é, surge maior capacidade e melhoria de absorção do conhecimento, viabilizando também o processo de *catching-up*, em menor velocidade, pelos países em desenvolvimento (ALBUQUERQUE, 2009). O ponto máximo de interação entre a C&T, ou conhecido como “pico de interação”, pode ser visualizado tanto na Figura 3 quanto nas Figuras 4 a 6. De acordo com os pontos de interação das matrizes globais, compreendem-se os diversos estágios de desenvolvimento da capacidade inovativa global e as combinações de tecnologias utilizadas pelo universo de países que utilizaram as patentes ambientais.

FIGURA 4–Interações entre subdomínios tecnológicos e áreas científicas (1990)

Ponto de Interação C&T	Área Científica (ISI)				
Subdomínio Tecnológico (OST)	3 - Engenharia	6 - Química Inorgânica e Engenharia	13 - Outras físicas	16 - Biotecnologia	18 - Biologia Geral
5 - Semicondutores					
7 - Análise, mensuração e controle					
9 - Químicas Finas Orgânicas					
12 - Biotecnologia					
19 - Processamento de Química Básica					

Fonte: Elaboração Própria

Outro ponto que mereceu destaque foram as mudanças nas combinações tecnológicas a partir de 1990. Em geral, além dos avanços tecnológicos e importantes transformações relacionadas às novas informações e surgimento de novos paradigmas (Ribeiro *et al.*, 2010), houve a partir da década de 90 outro fator determinante que impulsionou e acelerou o desencadeamento das inovações tecnológicas ambientais, os tratados e protocolos ambientais, como o Protocolo de Kyoto. As imposições ambientais e a emergência de novos paradigmas podem ter contribuído para a movimentação e diversificação de tecnologias ambientais que, por sua vez, exigem o desenvolvimento de uma sólida base de ciências e engenharias que atendam às exigências impostas. Os novos paradigmas são configurados por um dinâmico conteúdo científico das tecnologias desenvolvidas ao longo do tempo e por novos cenários mundiais, que requerem e exigem mudanças no conteúdo da sua tecnologia prévia.

No ano 2000, por intermédio da Figura 5, observa-se que as matrizes mundiais apresentavam um nível intermediário de preenchimento, com padrões bem distintos de citações. Grande parte das interações presentes no ano de 1990 foi concentrada nos subdomínios OST 7- Análise, mensuração e controle; OST 12 – Biotecnologia, e nas áreas científicas ISI 6- Química Inorgânica e Engenharia; ISI 13- Outras Físicas. Já no ano 2000, foram apresentados picos de interação nos subdomínios tecnológicos OST 9 – Químicas Finas Orgânicas; OST 12- Biotecnologia e nas áreas científicas ISI 6 – Química Inorgânica e Engenharia; ISI 16 – Biotecnologia; ISI 18- Biologia Geral e ISI 26 – Pesquisa Médica, como podem ser observados pelos preenchimentos das células na Figura 5.

FIGURA 5 – Interações entre subdomínios tecnológicos e áreas científicas (2000)

Ponto de Interação C&T	Área Científica (ISI)								
	3 - Engenharia Eletrônica	6 - Química Inorgânica e Engenharia	13 - Outras físicas	15 - Ciência para Agricultura e Alimentação	16- Biotecnologia	17 - Microbiologia	18- Biologia Geral	26- Pesquisa Médica	27- Imunologia
4 - Tecnologia da Informação									
7 - Análise, mensuração e controle									
8 -Engenharia médica									
9 - Químicas finos orgânicas									
10 - Química macromolecular									
11- Cosméticos e farmacêuticos									
12 - Biotecnologia									
13 - Produtos agrícolas e alimentícios									
19 - Processamento de química básica									

Fonte: Elaboração Própria

No âmbito global, observa-se, portanto, que entre as décadas de 1990 e 2000, houve uma grande diversificação tanto de subdomínios tecnológicos quanto de áreas científicas, mas sempre com um direcionamento maior para os campos da área de Saúde, Química e áreas relacionadas aos Alimentos, e com menor intensidade para a área de Engenharia. A capacidade tecnológica ambiental global combinou diversos campos tecnológicos ao longo desse período, impulsionado tanto por tratados ambientais internacionais e/ou desenvolvimento tecnológico natural das economias em estudo. O fato é que a área da Biotecnologia, a nível mundial, dominou os anos de 1990 e 2000, o que aponta um direcionamento importante nas tecnologias relacionadas aos novos paradigmas da área.

Entre os anos de 2000 e 2010, o cenário modificou-se um pouco, alguns subdomínios tecnológicos foram substituídos por áreas mais relacionadas à Engenharia, como foram o caso do OST 1- Componentes Eletrônicos, OST 5- Semicondutores e OST 6 – Ótica. Quanto às áreas científicas, houve apenas uma substituição da área 27- Imunologia para a área 14- Ecologia (FIGURA 6). Estas movimentações de domínios tecnológicos e científicos convergem para a tendência mundial de crescimento da importância de tecnologias ambientais relacionadas ao paradigma da Biotecnologia e das áreas científicas relacionadas à Saúde (RIBEIRO *et al.*, 2010).

FIGURA 6 – Interações entre subdomínios tecnológicos e áreas científicas (2010)

Ponto de Interação C&T	Área Científica (ISI)								
	3 - Engenharia Eletrônica	6 - Química Inorgânica e engenharia	13 - Outras físicas	14 - Ecologia	15 - Ciência para Agricultura e Alimentação	16 - Biotecnologia	17 - Microbiologia	18 - Biologia Geral	26 - Pesquisa Médica
1 - Componentes eletrônicos									
4 - Tecnologia da Informação									
5- Semicondutores									
6 - Ótica									
7 - Análise, mensuração e controle									
9 - Químicas finos orgânicas									
12 - Biotecnologia									
13 - Produtos agrícolas e alimentícios									
14 - Procedimentos técnicos									
19 - Processamento de química básica									

Fonte: Elaboração Própria

Em resumo, mediante as movimentações e sucessivos paradigmas tecnológicos verificados nos períodos de transição tecnológica, torna-se necessária uma análise mais específica dos diversos SNIs e suas transformações ao longo do tempo. Ressalta-se que o surgimento de

novos paradigmas tecnológicos traz novas perspectivas e expande novas oportunidades de desenvolvimento econômico aos SNIs. Nesse caso, serão discutidos os resultados apresentados nas matrizes de interação C&T, de acordo com seus grupos de países na ordem cronológica.

Uma alternativa que também auxilia a análise das matrizes de interação C&T refere-se à construção de indicadores descritos neste Capítulo, e que serão apresentados para cada ano. A Tabela 17 fornece os resultados dos seguintes indicadores: total de citações, índices de preenchimento e rugosidade e a correlação intertemporal, que propiciam a análise sobre a evolução das matrizes e também contribuem para avaliar a construção sólida de um desenvolvimento científico e tecnológico ao longo do tempo.

TABELA 17 – Indicadores de desempenho das matrizes tecnológicas ambientais

Ano	Total Citações	Índice de Preenchimento	Índice de Rugosidade	Correlação Intertemporal	
1990	63.069	78,90%	8,07		
2000	101.158	76,40%	13,35	1990-2000	0,78
2010	98.403	82,30%	11,52	2000-2010	0,74

Fonte: Elaboração Própria

Por intermédio dos resultados da Tabela 17, observa-se que houve um gradual aumento dos valores dos indicadores, demonstrando uma grande relevância no relacionamento entre os domínios tecnológicos OST e as disciplinas ISI. No ano de 2010, apesar de uma pequena queda no valor do total de citações, cerca de 3% com relação ao ano anterior, o índice de preenchimento foi bastante significativo. Tal resultado é coerente com as análises prévias em que se avaliaram as transformações estruturais das matrizes e seus maiores pontos de interação entre os subdomínios tecnológicos e as disciplinas científicas. O índice de rugosidade, da mesma forma, demonstra que ao longo dos anos, o desenvolvimento e as interações entre as áreas científicas e as capacidades tecnológicas não são constituídas por um processo aleatório. Em outras palavras, observou-se que há um movimento que pode ser chamado de ‘Processo Global de Interações’ entre C&T, verificando-se uma preferência pela propagação de determinadas áreas científicas e tecnológicas em detrimento de outras, que podem ser verificadas pelos seus picos de interação para cada ano. Quanto à correlação

intertemporal, os resultados mostraram que os valores são bem elevados e próximos a 1 (um), sugerindo que os níveis de preenchimento das matrizes, a altura de suas células e a localização dos picos das matrizes são bem similares entre um período e outro.

Em suma, observou-se que as matrizes mundiais (Figura 3) e suas interações entre subdomínios tecnológicos e áreas científicas (Figuras 4 a 6) obtiveram uma expansão e ampliação de áreas científicas e tecnológicas, assim como uma convergência para áreas relacionadas ao campo da área científica da Química e do subdomínio tecnológico da Biotecnologia. A tendência mundial dos últimos dois anos (2000 e 2010) em que houve um aumento significativo nas interações científicas e tecnológicas para a área de Biotecnologia, corresponde ao contínuo e acelerado desenvolvimento de tecnologias nesta área. Especificamente, as pressões sociais e econômicas surgiram paralelamente ao aumento da demanda por melhores condições de saúde, por padrões nutricionais e preocupações ambientais, fazendo com que o setor de biotecnologia obtivesse um grande impacto no desenvolvimento de soluções tecnológicas.

Os setores da Biotecnologia relacionados à promoção das soluções tecnológicas referem-se à indústria alimentícia, farmacêutica e de gestão de resíduos, que convergem para alguns dos principais problemas globais, como por exemplo, a má nutrição e a poluição ao meio ambiente. Estudos mais minuciosos em cada economia podem contribuir na investigação sobre em quais setores tradicionais (ou não) a Biotecnologia pode se expandir e se desenvolver, criando um ambiente propício a novas oportunidades tecnológicas. Além disso, foi possível observar que o desenvolvimento de novas tecnologias baseadas na Biotecnologia seguiu uma nova trajetória tecnológica ao longo dos últimos dois anos. Os resultados verificados apontam que a Biotecnologia não somente configura uma nova trajetória, mas também reflete a necessidade de maior conteúdo científico e tecnológico, os quais envolvem novos conhecimentos e a elaboração de mecanismos adequados à apropriabilidade (SILVEIRA *et al.*, 2002).

O papel da pesquisa, principalmente na educação superior, tem uma participação fundamental para expandir a compreensão e o conhecimento nas áreas de ciência e engenharia, baseadas em Biotecnologia. O conhecimento produzido pela articulação das respectivas áreas com a Biotecnologia serve como base para os avanços científicos e técnicos e, conseqüentemente, para o crescimento econômico das nações e para a melhoria do bem-estar. Em resumo, o desenvolvimento de novas trajetórias tecnológicas e das inovações ambientais dependerá,

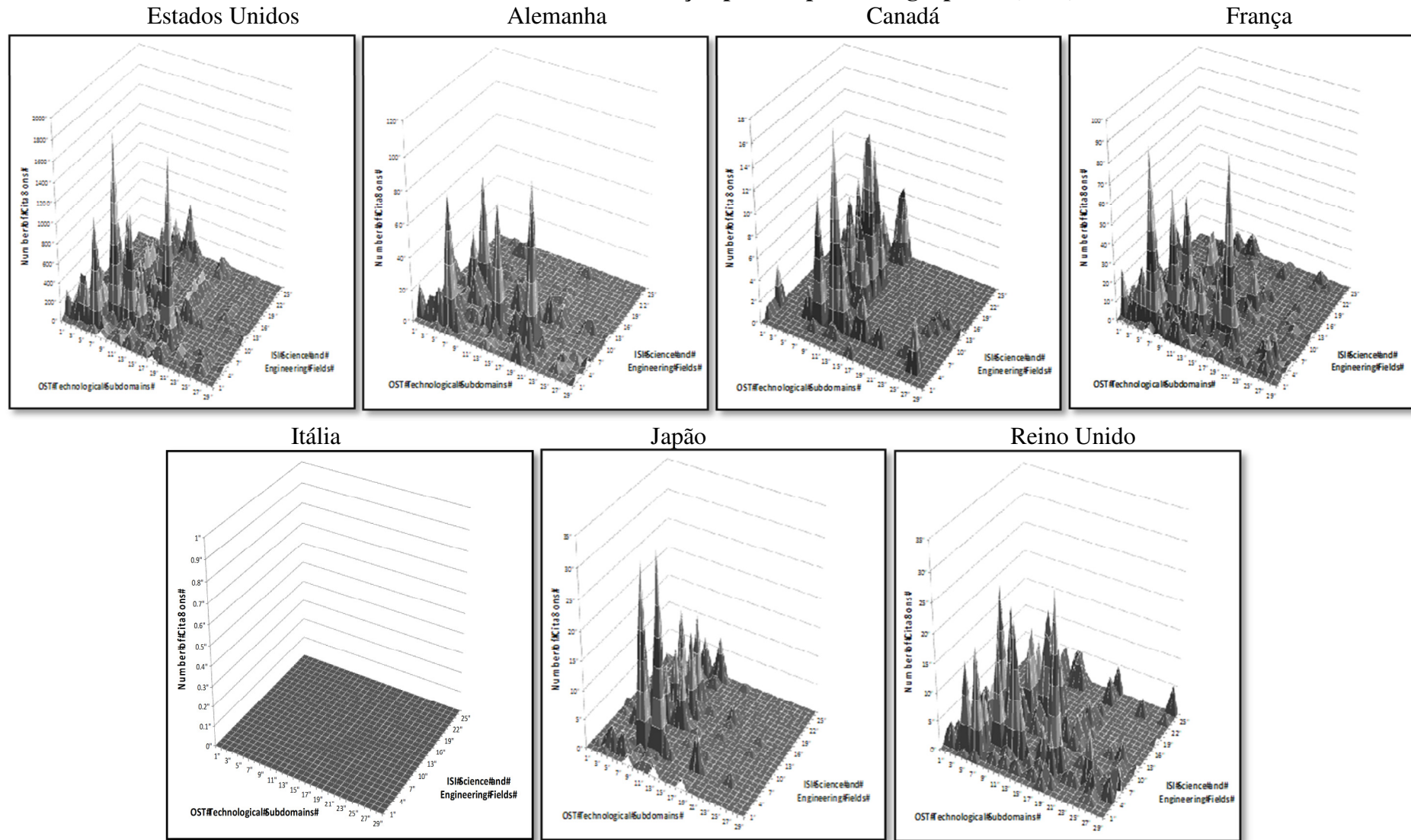
especialmente, do direcionamento de pesquisas e investimentos que envolvam a área de Biotecnologia.

A seguir, serão apresentadas e avaliadas as matrizes de interação entre C&T dos grupos BRICS e G7 por ano, fundamentadas pelos resultados dos indicadores de desempenho das matrizes de C&T.

As matrizes tecnológicas do grupo BRICS para o ano de 1990 (Tabela 18) obtiveram um processo de preenchimento das matrizes incompleto, isto é, nenhuma das células das matrizes foi preenchida. Esse processo significa dizer que não houve relacionamento entre o patenteamento ambiental com as citações nas disciplinas de Ciência e Engenharia (C&E) no referido ano. Nesse caso, pode-se considerar o fato de que a discussão sobre inovações ambientais e a disseminação das questões sobre mudanças climáticas naquele ano eram ainda muito incipientes nessas nações. Contudo, tais resultados são bem diferentes quando comparados aos Sistemas Nacionais de Inovação mais maduros e fortalecidos, presentes no grupo G7, como podem ser observados pela Figura 7.

Também no ano de 1990, o grupo dos países que compõem o G7, com exceção da Itália, apresentou relevantes interações entre os pares de subdomínio tecnológico e área científica, além de demonstrar um nível de preenchimento bem distinto quando comparado ao grupo do BRICS (Tabela 11). Pela Figura 7, é possível notar que os Estados Unidos possuem o maior pico de interação correspondente ao par subdomínio tecnológico 9 'Químicas Finas Orgânicas' e área científica 6 'Química Inorgânica e Engenharia'. Este país tem grande parte da interação concentrada nos subdomínios 9, 12 e 20 e áreas científicas 3, 6 e 13, sendo subdomínios e áreas bastante semelhantes às faixas pertencentes a países como o Japão, Canadá e Alemanha. Comparando-se as matrizes da França com as da Alemanha, países nos quais os índices de preenchimento e rugosidade são bastante similares, ambas apresentaram matrizes com interações esporádicas e escassas, nas quais os picos de interação concentram-se no subdomínio 7 (Análise, Mensuração e Controle) e área científica 6 (Química Inorgânica e Engenharia), sendo que a Alemanha desponta também para os subdomínios tecnológicos mais relacionados ao meio ambiente como o OST 20 'Meio Ambiente e Poluição, o que parece indicar que a Alemanha promoveu o desenvolvimento mais especificamente deste subdomínio tecnológico no ano de 1990.

FIGURA 7 – Gráficos de Interação para os países do grupo G7 (1990)



Fonte: Elaboração própria.

TABELA 18 – Indicadores de desempenho das matrizes tecnológicas ambientais (1990)

Grupo	País	Total Citações	Índice de Preenchimento	Índice de Rugosidade
BRICS	Brasil	0	0,0%	0
	Rússia	0	0,0%	0
	Índia	0	0,0%	0
	China	0	0,0%	0
	África do Sul	0	0,0%	0
G7	Alemanha	1.326	28,6%	0,24
	Canadá	236	7,7%	0,05
	Estados Unidos	39.809	74,2%	5,01
	França	1.789	38,1%	0,25
	Itália	0	0,0%	0
	Japão	357	12,8%	0,08
	Reino Unido	708	21,9%	0,1

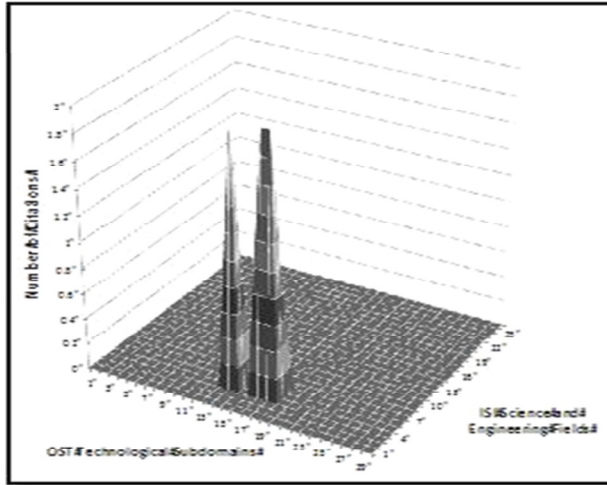
Fonte: Elaboração própria.

Nesse ponto, a ferramenta de análise representada pelas matrizes permite focalizar quais subdomínios e quais áreas científicas apoiam e corroboram para o desenvolvimento tecnológico ambiental. E, comparando-se aos resultados das áreas científicas e subdomínios tecnológicos das matrizes globais mundiais, é possível afirmar que o grupo G7 direcionou-se e contribuiu para o desempenho tecnológico ambiental registrado no ano de 1990. O direcionamento das áreas e os subdomínios observados pelo grupo G7 são bastante similares aos verificados pelas matrizes tecnológicas mundiais, o que fortalece ainda mais a discussão sobre a construção de uma base sólida de Ciência e Engenharia, em conjunto com os campos da Ciência e Tecnologia pelos diferentes Sistemas Nacionais de Inovação.

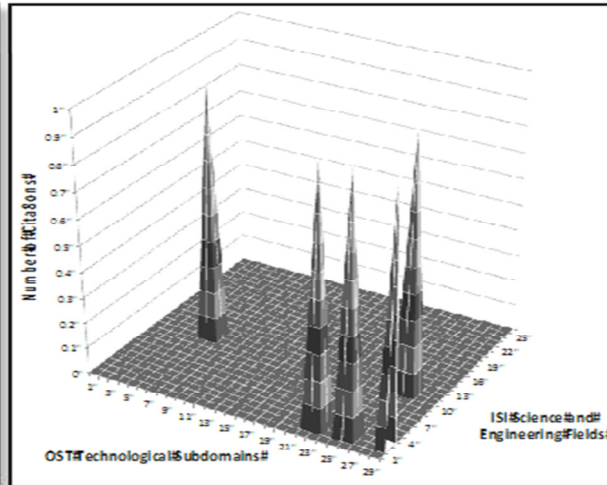
Quanto ao ano 2000, visualiza-se uma pequena evolução quanto às matrizes de interação do grupo BRICS, que obtiveram um fortalecimento de interações entre C&T, no qual essas combinações podem ser identificadas por uma distribuição de células preenchidas. A Figura 8 e a Tabela 19 apontam que o desenvolvimento tecnológico ambiental nos países em desenvolvimento evoluiu em comparação ao comportamento do mesmo grupo no ano de 1990. Em geral, cada país do grupo BRICS representa níveis diversos de desenvolvimento com diferentes regimes entre C&T e capacidades tecnológicas ambientais. Além disso, a lacuna existente entre essa capacidade tecnológica ambiental entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento é bastante visível, como mostram os resultados dos indicadores na Tabela 19, em que o país de maior citação entre os países em desenvolvimento, a Índia tem o padrão similar de interações referente ao último país do *ranking* do grupo G7, a Itália.

FIGURA 8 – Gráficos de Interação para os países do grupo BRICS (2000)

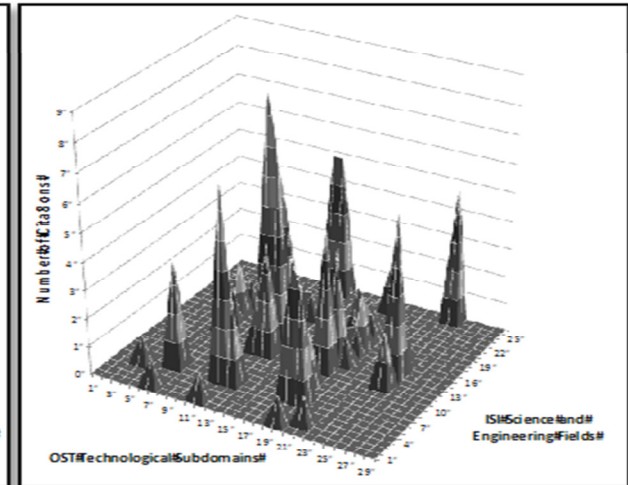
Brasil



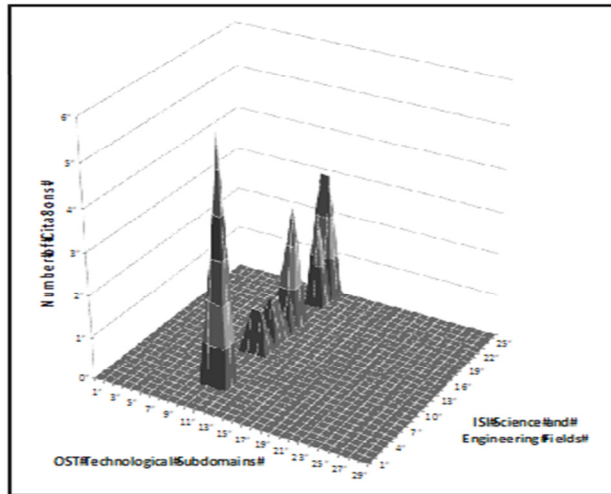
Rússia



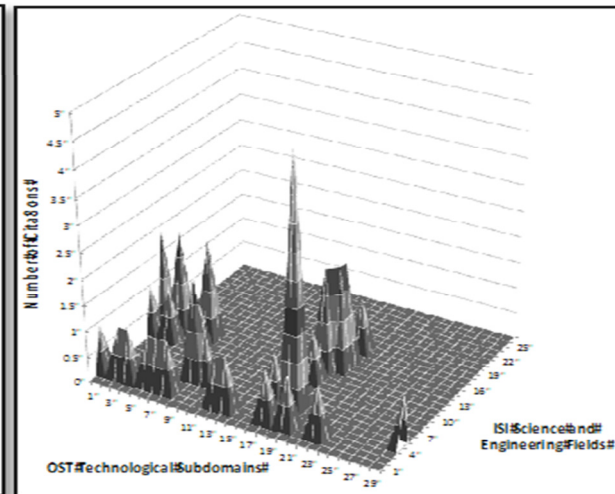
Índia



China



África do Sul



Fonte: Elaboração própria.

Entre os subdomínios tecnológicos, os campos 12 ‘Biotecnologia’ e 26 ‘Produtos agrícolas e alimentícios’, e as áreas científicas 6 ‘Química Inorgânica e Engenharia’ e 14 ‘Ecologia’ obtiveram elevados pesos e contribuíram para a incidência dos picos de interação, principalmente na Índia. Já o grupo dos países desenvolvidos, o G7, a Figura 9 e a Tabela 19 indicam que houve uma mudança quanto ao preenchimento das células das matrizes, que de certa forma, tornaram-se mais homogêneas e uma movimentação das interações de C&T que, nos últimos dez anos, predominaram nos domínios e áreas científicas concentradas no campo da Química e Meio Ambiente. A magnitude das interações da economia americana ainda é proeminente se comparada às maiores potências mundiais, cuja década os Estados Unidos diversificaram seus principais pontos de interação. No ano 2000, o país desviou o seu foco também para o subdomínio científico 11 ‘Farmacêuticos e Cosméticos’ e para áreas científicas ligadas à saúde, 18 ‘Biologia Geral’ e 26 ‘Pesquisa Médica’, seguindo a tendência mundial verificada na configuração das matrizes globais.

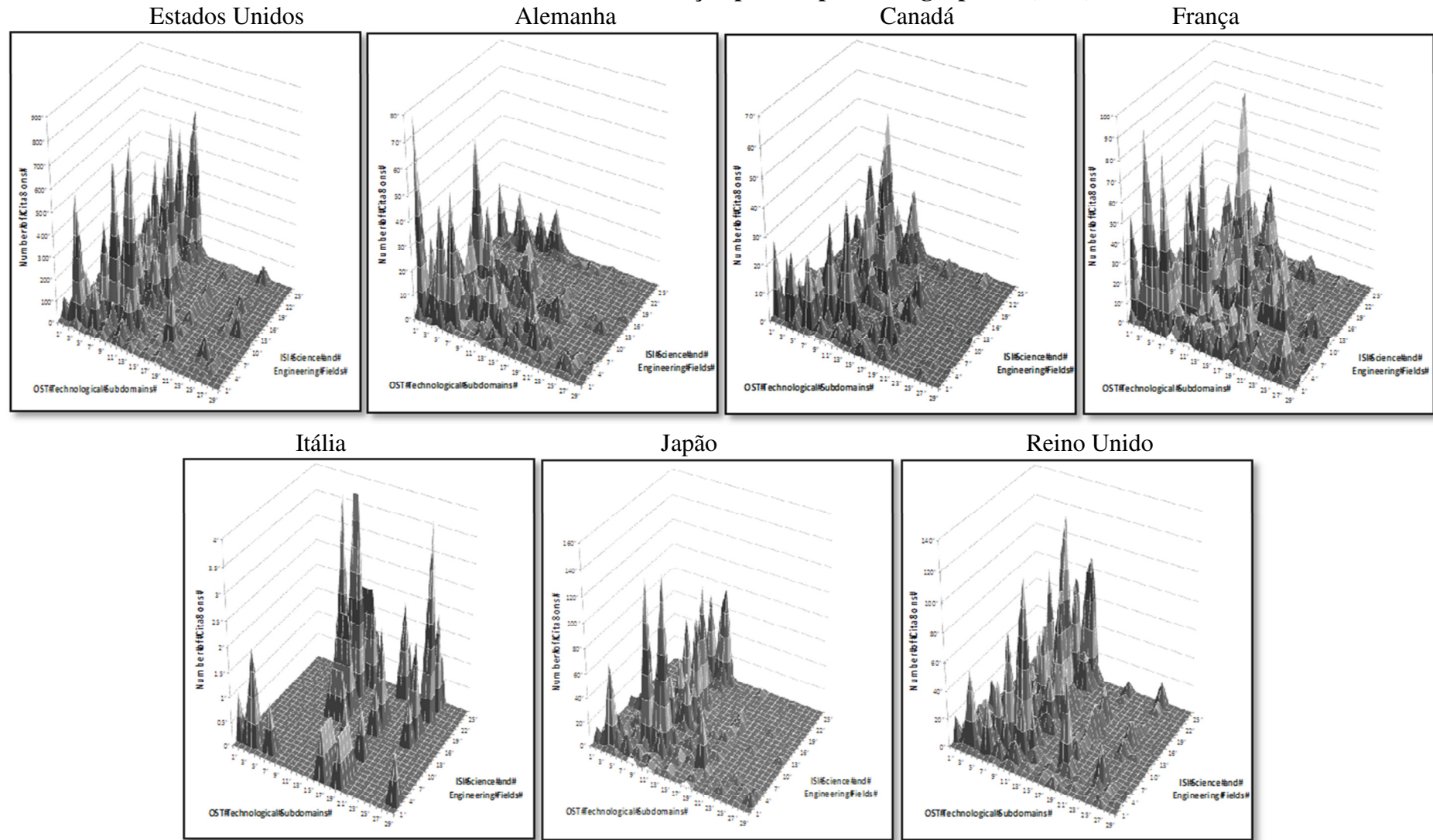
TABELA 19 – Indicadores de desempenho das matrizes tecnológicas ambientais (2000)

Grupo	País	Total Citações	Índice de Preenchimento	Índice de Rugosidade	Correlação (1990-2000)
BRICS	Brasil	9	0,7%	0	-
	Rússia	5	0,6%	0	-
	Índia	122	5,4%	0,03	-
	China	27	1,6%	0,01	-
	África do Sul	38	3,3%	0,01	-
G7	Alemanha	1.502	30,6%	0,21	0,57
	Canadá	1384	25,8%	0,2	0,66
	Estados Unidos	22.394	57,3%	3,13	0,73
	França	3.793	44,8%	0,41	0,78
	Itália	67	5,4%	0,01	-
	Japão	2431	29,9%	0,42	0,88
	Reino Unido	3726	36,5%	0,5	0,65

Fonte: Elaboração própria.

Observou-se também que há uma tendência por parte das nações em direcionar seus esforços no subdomínio tecnológico 12 ‘Biotecnologia’ e na área científica 18 ‘Biologia Geral’. Com exceção da Alemanha, que investiu em subdomínios tecnológicos mais específicos ao campo de meio ambiente. Especificamente, no ano 2000, os picos de interação foram mais direcionados às áreas de engenharia e química, como os subdomínios 5 ‘Semicondutores’, 1 ‘Componentes Elétricos’ e áreas científicas relacionadas à 3 ‘Engenharia Eletrônica’ e 6 ‘Química Inorgânica e Engenharia’.

FIGURA 9 – Gráficos de Interação para os países do grupo G7 (2000)



Fonte: Elaboração própria.

Quanto aos indicadores de desempenho das matrizes, a Tabela 19 mostra a preponderância em relação ao preenchimento das células das matrizes do grupo G7 *vis à vis* ao índice de preenchimento do grupo BRICS. Como explicitado anteriormente, os picos apresentados em 1990 não foram os mesmos picos de interação visualizados no ano 2000, e a correlação intertemporal entre os anos não foi muito elevada, com exceção do valor apresentado no Japão. O índice de rugosidade também foi baixo, com exceção do índice para os Estados Unidos⁵⁰. O resultado deste índice revela que a ampla rede de interações científicas e tecnológicas existente no grupo G7 é fundamental para o desenvolvimento das tecnologias ambientais e para a construção de Sistemas Nacionais de Inovação fortalecidos.

Por fim, no último ano, de acordo com a Figura 10, é possível observar que os países do grupo BRICS obtiveram um grande aumento no preenchimento da área das matrizes e, certamente, as mudanças entre os campos nos subdomínios tecnológicos e áreas científicas, durante as últimas décadas (1990 e 2000), provocaram essa expansão e diversificação das interações entre a C&T. No ano de 2010, como podem ser observadas na Figura 10 e na Tabela 20, as matrizes tecnológicas do grupo BRICS ainda apresentam baixos índices de preenchimento e mudanças em seus domínios tecnológicos e áreas científicas líderes. Ao contrário dos campos líderes analisados no ano 2000, houve uma mudança no perfil de interações entre C&T nos últimos dez anos.

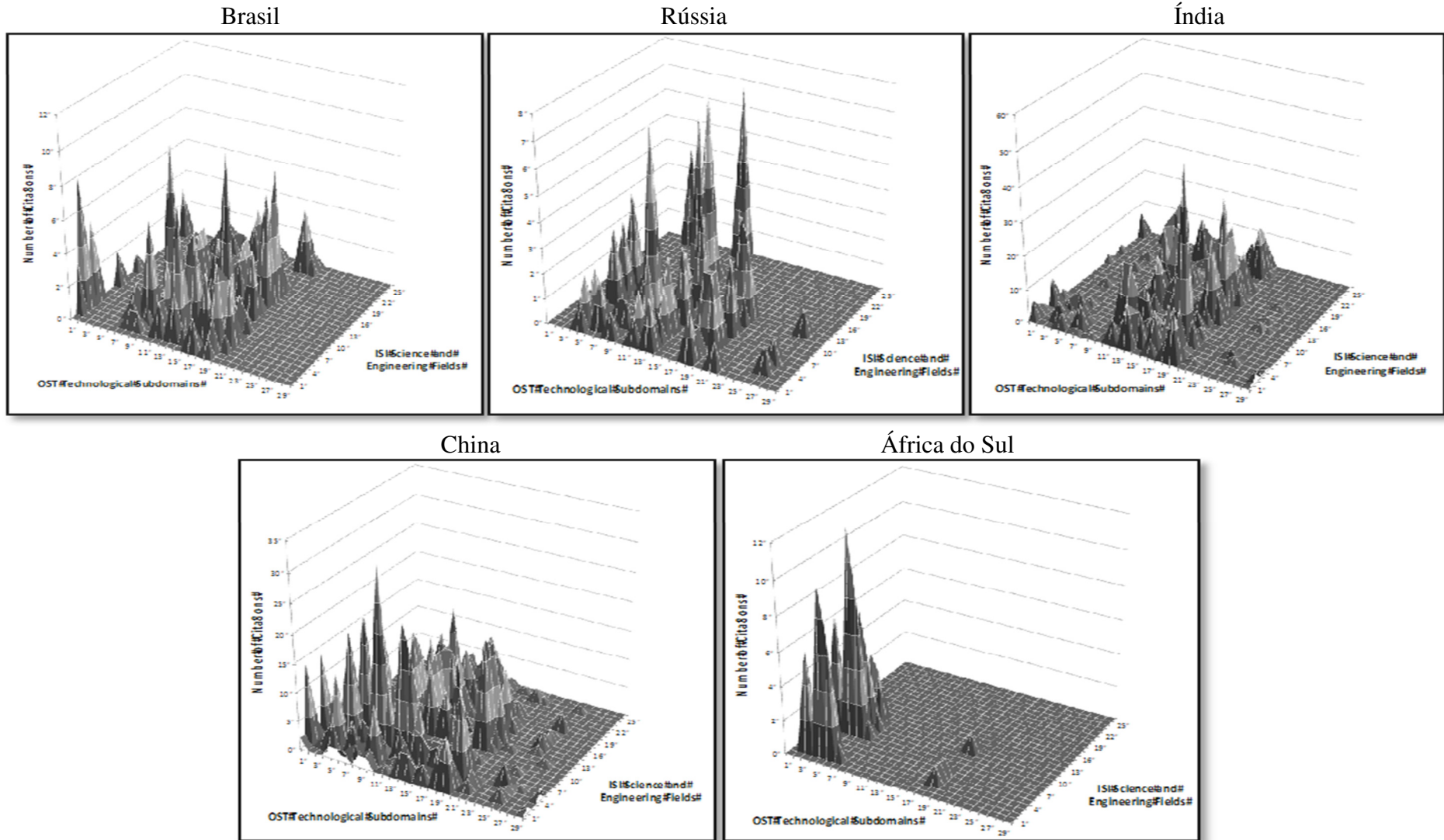
TABELA 20 – Indicadores de desempenho das matrizes tecnológicas ambientais (2010)

Grupo	País	Total Citações	Índice de Preenchimento	Índice de Rugosidade	Correlação (2000-2010)
BRICS	Brasil	225	11,2%	0,04	0,14
	Rússia	122	6,5%	0,03	0,01
	Índia	945	18,8%	0,14	0,46
	China	991	28,0%	0,12	0,24
	África do Sul	81	2,3%	0,03	0,17
G7	Alemanha	4.312	45,6%	0,58	0,79
	Canadá	795	23,2%	0,1	0,64
	Estados Unidos	29.040	68,4%	3,77	0,73
	França	4.620	47,4%	0,51	0,71
	Itália	156	6,7%	0,05	0,07
	Japão	9616	51,0%	1,3	0,78
	Reino Unido	4669	41,7%	0,6	0,5

Fonte: Elaboração própria.

⁵⁰ Narin *et al.* (1997) ressalta as vantagens dos investimentos governamentais em ciência para o avanço tecnológico em determinados setores industriais nos EUA. O sucesso para o desenvolvimento tecnológico no país é respaldado pela ciência básica que atuou como peça chave nos resultados da alta tecnologia nacional.

FIGURA 10 – Gráficos de Interação para os países do grupo BRICS (2010)



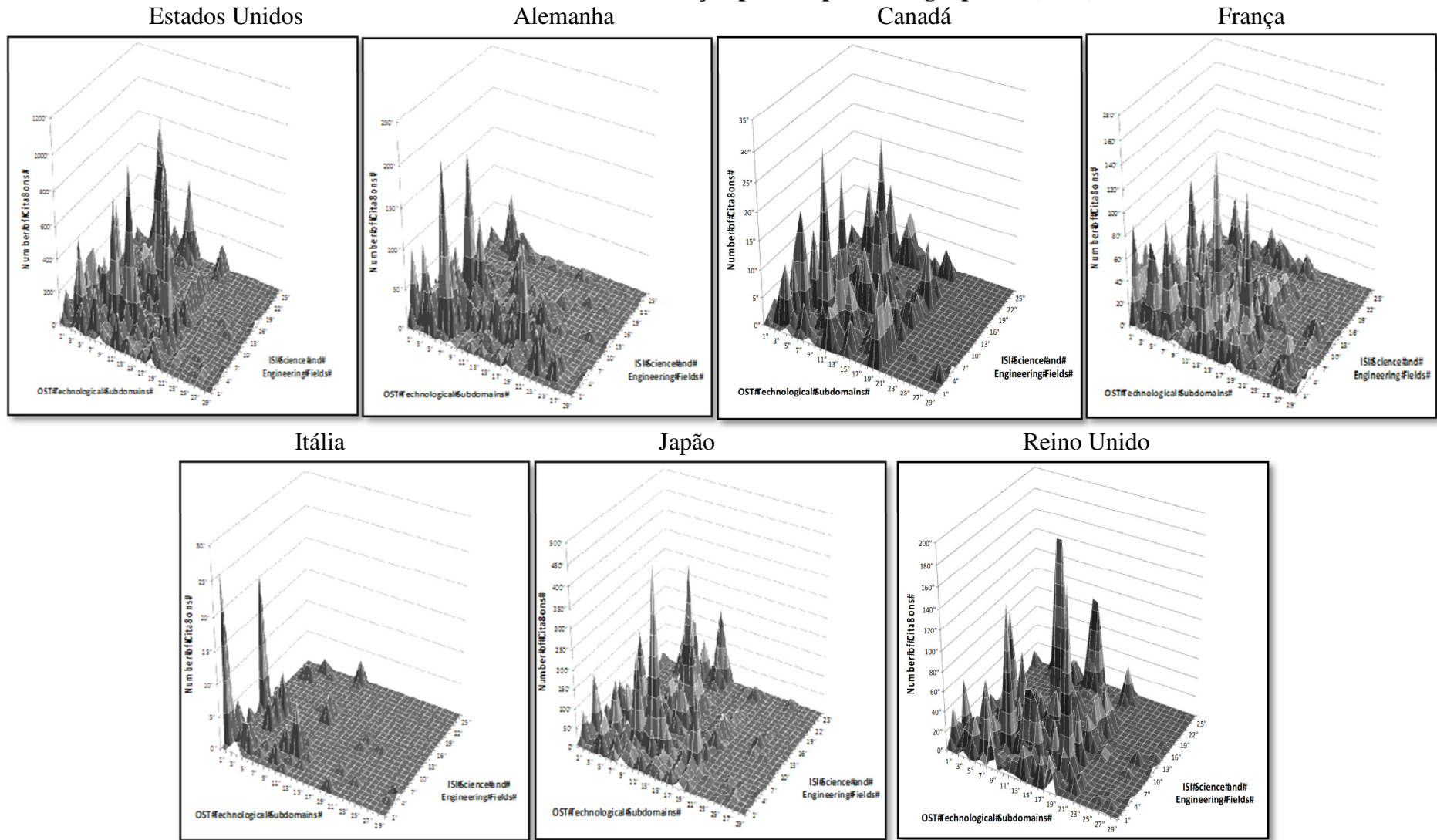
Fonte: Elaboração própria.

Com exceção do subdomínio tecnológico 12 'Biotecnologia', que representa uma tendência tecnológica mundial em ambos os grupos, os campos tecnológicos líderes entre os países abrangem os campos 19 'Processamento Químico Básico', 9 'Químicas finas orgânicas', 11 'Farmacêuticos e cosméticos'. Ainda que os subdomínios apresentem poucas interações é possível captar as movimentações e a tendência quanto aos domínios tecnológicos no grupo BRICS. Em relação aos campos científicos, as áreas de Química e Engenharia dominam o conjunto de interações, não sendo muito discrepantes quanto aos resultados verificados no ano 2000.

Em relação aos países do grupo G7, ao contrário dos indicadores referentes aos países em desenvolvimento, a Figura 11 e a Tabela 20 exibem um elevado índice de preenchimento em todas as economias, principalmente nos Estados Unidos, com cerca de 70% de propagação de células preenchidas. Em 2010, diferentemente dos países do grupo BRICS, os países do grupo G7 não diversificaram substancialmente seus subdomínios tecnológicos considerados líderes, em relação ao ano de 1990. Os subdomínios interrelacionados à 19 'Farmacologia e Farmácia', 9 'Química Orgânica', além da 12 'Biotecnologia' foram preponderantes no que concerne aos demais campos tecnológicos. Já em relação às áreas científicas, aquelas que sobressaíram em relação às demais foram a 6 'Química Inorgânica e Engenharia', 3 'Engenharia Eletrônica'. Do mesmo modo, o destaque das áreas científicas em 2010 concentra-se no âmbito da área 16 'Biotecnologia' que dominou grande parte dos campos científicos dos países do grupo. Por ser uma área tecnológica considerada como 'fronteiriça', a Biotecnologia, ao longo das três décadas, indicou evidências que o aumento das interações nesse campo reflete as mudanças nos paradigmas, indicando também o direcionamento subjacente à trajetória tecnológica ambiental.

Sob esse ponto de vista, ressalta-se também que as análises das matrizes de interação entre C&T são complexas e envolvem questões inerentes ao processo de interação, como, por exemplo, as competências tecnológicas ambientais de cada nação, que exigem aprofundamento e investigação entre suas relações econômicas e setoriais. No entanto, todos os campos tecnológicos e áreas científicas supracitadas são fontes de pesquisa importantes, no qual se revelou expressivas assimetrias e desigualdades em diversos aspectos, tanto quanto ao número total de citações quanto às diversidades em termos de interação da C&T.

FIGURA 11 – Gráficos de Interação para os países do grupo G7 (2010)



Fonte: Elaboração própria.

Observou-se, ainda, que o desenvolvimento da capacidade tecnológica dos países, tanto do grupo G7 quanto do grupo BRICS envolve processos de aprendizados distintos. Em outras palavras, a trajetória tecnológica ambiental observada ao longo das três décadas entre os países seria uma trajetória de aprendizados cumulativos, em que os padrões tecnológicos vigentes são mais flexíveis de serem modificados a longo prazo, o que foi observado pelas mudanças entre os domínios e áreas científicas das matrizes. Tal resultado é um produto da capacidade tecnológica e de aprendizados dos países ao longo dos anos, e determina o quão adequadamente cada nação é capaz de lidar com as novas tecnologias (KIM; NELSON, 2005).

6.3 Considerações Finais

A partir da análise realizada pelas matrizes e comparando-a com as características observadas pelos indicadores do Capítulo 5, os resultados das interações científicas e tecnológicas confirmaram as disparidades existentes entre as economias menos avançadas com as mais desenvolvidas. 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 OCDE⁵¹ 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

⁵¹A 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.

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.

Quanto aos países com estágios menos avançados de desenvolvimento (BRICS), caracterizados nos grupos 3 e 4, estes apresentam características que englobam economias que não possuem um desempenho científico, tecnológico e econômico apurado, apresentando também um quadro deficiente quanto à produção da atividade tecnológica ambiental. A diferença em relação aos grupos formados pelos indicadores e à composição dos países do BRICS pode ser exemplificada por países como a China, a Índia e a Rússia. Essas economias, especialmente a Índia e a Rússia mantiveram-se nos grupos 3 e 4 nos anos de 1990 e 2000, e somente no último ano (2010) passaram para um estágio similar aos países desenvolvidos, localizando-se no grupo 2. Já a China, em todos os períodos analisados, manteve-se no grupo 2, ao lado de economias desenvolvidas. Todos esses resultados apontam que houve um esforço nesses países em aumentar sua capacidade tecnológica e científica, apesar de suas disparidades quanto ao desenvolvimento científico, tecnológico e econômico. De acordo com os resultados exploratórios e das matrizes de interação, os três países supracitados também avançaram em seus estágios de patenteamento ambiental e conteúdo científico e tecnológico. Por outro lado, países como a África do Sul e o Brasil, apesar de todo um esforço nas últimas três décadas, ainda apresentam deficiências em suas estruturas científica, econômica e tecnológica, o que condiciona as economias a um processo de bloqueio na busca de processos de *catching up* do desenvolvimento tecnológico ambiental.

No caso especificamente do Brasil, sua matriz energética seguiu uma distribuição que converge com a tendência mundial, isto é, a participação do petróleo e seus derivados reduziu 6,4% entre 1973 e 2012 (MME, 2012). O efeito desta queda pode ser explicado pelo esforço do país em substituir a fonte energética de combustíveis fósseis por energias mais limpas, como o aumento da geração de energia hidráulica e a utilização de derivados da cana (por

exemplo, o bagaço e o etanol) (MME, 2012). Contudo, a utilização de combustíveis fósseis no país representa 56,1% de sua matriz energética (2012), contra 81% em todo o mundo (2010).

Especificamente, a interpretação e a análise das matrizes de interação de C&T buscaram compreender como a trajetória tecnológica ambiental evoluiu ao longo das três décadas. Torna-se oportuno ressaltar a natureza do impacto das inovações ambientais sobre as interações científicas e tecnológicas neste período. Os resultados apresentaram duas vertentes relevantes na lógica sobre a evolução das interações entre C&T. A primeira refere-se às matrizes tecnológicas do grupo G7 que se direcionaram mais para subdomínios e áreas próximas aos paradigmas apresentados pelas matrizes globais e campos similares à fronteira tecnológica, como o campo da Biotecnologia. A segunda vertente constituiu-se na percepção de que os países do grupo BRICS ainda buscam se consolidar em áreas onde os países desenvolvidos já possuem largamente o conhecimento tecnológico e científico, que seriam as áreas de 5 ‘Semicondutores’, 3 ‘Telecomunicações’ e 6 ‘Ótica’, que ocorreram entre os picos de interação intertemporais, principalmente na África do Sul e Rússia.

Entre os países do grupo BRICS, a China e a Índia destacaram-se ao longo do período em análise, não somente pelo desempenho e qualidade dos seus subdomínios tecnológicos e campos científicos, mas também pelo aumento da quantidade de citações (Tabelas 12 e 13), principalmente em relação aos anos de 2000 e 2010, com crescimento de 87,08% e 97,28%, respectivamente. O processo observado, que também pode ser considerado como um ‘retrato’ do processo de *catching up* da capacidade tecnológica ambiental entre o período de 10 (dez) anos. A China e a Índia possuem setores industriais diversificados e padecem de sérias defasagens tecnológicas, mas ainda se sobressaltam quanto as suas dimensões de mercado interno e inovação em novas tecnologias (KIM; NELSON, 2005). O que se observou ao longo do período foi que o contexto atual, com imposições a metas de emissões e produções de fontes energéticas menos dependentes de combustíveis fósseis⁵², induziram, de certa forma, esses países a traçar novas estratégias ambientais. Entre os possíveis planos estão a produção de fontes energéticas limpas e políticas de fomento às tecnologias limpas (TGCII, 2014). Em geral, as capacidades tecnológicas ambientais nos países em desenvolvimento foram observadas suavemente, mas não enfraquecem a importância de maiores investimentos em sua infraestrutura econômica, social e científica, o que conseqüentemente impulsionará o progresso tecnológico ambiental nessas nações a longo prazo.

⁵²A China é altamente dependente de combustíveis fósseis, principalmente o carvão, sendo o maior produtor e consumidor mundial. (GOMEZ *et al.*, 2012).

Os resultados para os países em desenvolvimento foram semelhantes àqueles encontrados por Ribeiro *et al.* (2010), que analisaram os padrões de crescimento estruturado das matrizes para patentes em geral. No artigo, foram analisados os anos 1974, 1982, 1990, 1998 e 2006, de acordo com o patenteamento em geral dos países como Taiwan, Índia, China, Brasil, África do Sul, México e Indonésia. No trabalho, os resultados revelaram que Brasil, China, África do Sul e Índia são caracterizados como países de regime intermediário, isto é, países com capacidade limitada de diversificação tecnológica. Nesse caso, a única diferença quanto ao trabalho de Ribeiro *et al.* (2010) em relação aos resultados observados na tese refere-se ao processo de desenvolvimento tecnológico ambiental acelerado, ocorrido na China e que mostrou estágios de desenvolvimento inovativo comparados às economias desenvolvidas.

Em relação aos países desenvolvidos, observou-se que ao longo do tempo, a evolução e o desempenho das interações entre a C&T são fatores inerentes ao seu processo de aprendizagem, isto é, dependem muito mais da trajetória tecnológica dos países. Logo, as mudanças tecnológicas em direção ao desenvolvimento das tecnologias ambientais são factíveis, porém as mesmas são condicionadas às inovações e tecnologias geradas em períodos anteriores. O papel do aprendizado tecnológico é profundamente específico à determinada tecnologia e às interações tecnológicas encontradas, dado que cada tecnologia exige específicos graus de exigências de aprendizado.

Nesse sentido, entende-se que os países se sujeitam a períodos de aprendizados incertos, difíceis e prolongados, dependendo, é claro, do nível de conhecimento e aprendizado cumulativo. A introdução de novas tecnologias, isto é, tecnologias limpas, ambientais, envolvem uma diversidade de aprendizados, desde a interação entre as firmas e setores, firmas e consumidor e instituições de pesquisa e firmas. Entende-se que essa diversidade e as assimetrias de aprendizados entre os países englobam também questões multidisciplinares, como a infraestrutura tecnológica, econômica e científica, as questões culturais e educacionais, a qualidade da Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), a qualificação da mão de obra e outros fatores essenciais para o desenvolvimento e progresso dos Sistemas Nacionais de Inovação, como um todo.

Destarte, o desenvolvimento tecnológico ambiental dos países dependerá de esforços e aptidões em todos os níveis, desde o chão de fábrica, passando pela engenharia de produtos e processos e as relações entre universidades, instituições de pesquisa e firmas. Os incentivos para a produção, pesquisas e desenvolvimento das tecnologias ambientais dependerão não

somente da capacidade tecnológica de cada país, mas essencialmente, de questões regulatórias, políticas e setoriais que visam à mitigação dos impactos ambientais, nos quais as evidências sugerem uma forte correlação entre os gastos e investimentos com a redução da poluição e o fomento de tecnologias ambientais (LANJOUW e MODY, 1996).

7 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.

A presente tese buscou incorporar elementos que caracterizam a relação entre a capacidade tecnológica ambiental e a dimensão sistêmica dos Sistemas Nacionais de Inovação, entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento para os anos de 1990, 2000 e 2010. O agrupamento dos países e a complexidade quando se envolvem questões inerentes nacionais como a diversidade entre os estágios de maturação dos SNIs e as questões das externalidades atreladas aos aspectos ambientais, além dos processos de *catching up* proporcionados pelas

várias etapas de transformações dinâmicas tornaram a pesquisa desta Tese um grande desafio. Nesse caso, é importante destacar a originalidade que esta temática envolve, tanto pelo estudo das capacidades tecnológicas ambientais quanto pela influência sobre os diversos SNIs dessa pesquisa, ao longo do tempo. Em resumo, a análise e a avaliação das relações entre as inovações ambientais dos países desenvolvidos e em desenvolvimento em diferentes estágios de construção dos SNIs são os fatores chave que configuram o esforço empreendido.

O primeiro esforço empírico da tese originou-se de uma análise quantitativa e exploratória das patentes como *proxy* para a inovação ambiental, que revelaram assimetrias e especificidades existentes entre a diversidade de SNIs. Em relação às assimetrias científicas e tecnológicas, foi nítida a elevada capacidade de desenvolvimento tecnológico ambiental por parte dos países desenvolvidos, principalmente dos Estados Unidos. Nesse caso, a relação de que Sistemas Nacionais de Inovação consolidados e maduros sejam os mais propícios a avançarem em direção à produção de tecnologias ambientais com maior rapidez foram bastante visíveis, não somente nos Estados Unidos, mas em outras economias como Canadá, Japão e Alemanha. Entretanto, os esforços quanto às mudanças para uma tecnologia mais limpa e sustentável envolvem amplos fatores mais incisivos como políticas tecnológicas, ambientais e sociais inerentes a cada nação e de difícil mensurabilidade.

Em geral, os países desenvolvidos representados por aqueles que englobam o grupo G7, a Produção de Energia Alternativa obteve uma participação de 10% superior às tecnologias de Gestão de Resíduos. Já no grupo de países em desenvolvimento que compõe o BRICS, a participação de ambas as áreas tecnológicas foi altamente equilibrada no total de anos observados. Em resumo, pode-se dizer que as disparidades referentes aos indicadores ambientais tecnológicos entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento são um reflexo da desigualdade das infraestruturas tecnológicas e científicas existentes entre as economias.

A partir desta análise preliminar, procurou-se introduzir elementos de diversas dimensões que pudessem captar a existência de efeitos que caracterizassem mais o comportamento entre as economias desenvolvidas e em desenvolvimento e, com isso, identificar os desequilíbrios existentes entre os SNI nesses países. As configurações presentes nos países em desenvolvimento estão longe de atingirem um patamar próximo aos países desenvolvidos. Em outras palavras, apesar dos avanços ocorridos ao longo dos anos, principalmente entre os anos 2000 e 2010, esses países carecem de um profundo investimento em condições básicas de infraestrutura, como foi o caso observado na África do Sul, no Brasil e na Índia, além de um

desenvolvimento econômico mais forte e de maiores avanços nas áreas de Ciência e Tecnologia. Os avanços empreendidos pelos países em desenvolvimento foram de magnitude mais lenta e posterior às mudanças tecnológicas observadas pelos países desenvolvidos. As deficiências observadas nesses países, quanto à infraestrutura científica e tecnológica dos países em desenvolvimento foram compatíveis com a lógica de novos regimes e mudanças tecnológicas.

No tocante à lógica que envolve novos regimes tecnológicos, como as inovações ambientais, estes são gradativamente substituídos por regimes tecnológicos desenvolvidos e consolidados. Logo, para que haja um maior desenvolvimento por parte das tecnologias ambientais nos países em desenvolvimento, é necessário que os obstáculos e os gargalos infraestruturais sejam superados, sejam eles tecnológicos, institucionais, econômicos e políticos. Além disso, observou-se entre os grupos de países analisados que para uma significativa adoção de tecnologias ambientais, é necessária uma relação estreita entre um nível relevante de desenvolvimento econômico e um forte comprometimento com a infraestrutura científica, mantendo-se dessa forma um ambiente favorável tanto econômico quanto institucionalmente para os SNIs.

Entre as economias em desenvolvimento, a China destacou-se como um forte potencial tecnológico ambiental nos períodos analisados. O acelerado crescimento econômico a partir da década de 90, assim como os fortes investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento, fizeram com que o país alcançasse o segundo maior estoque mundial de recursos humanos em Ciência e Tecnologia (OECD, 2008). Todavia, assim como observado na China e em países altamente desenvolvidos como nos Estados Unidos, a produção tecnológica ambiental veio acompanhada de constantes emissões de gases poluentes. Sobre a continuidade e aumento de emissões de gases poluentes observados, principalmente nos países desenvolvidos, o indicador ambiental utilizado (emissões totais de CO₂) revelou que países como Estados Unidos, Alemanha e França mantiveram um bom desempenho tecnológico ambiental ao longo dos anos. Não obstante, a proporção de emissão de gases foi elevada gradativamente ao longo dos anos, a partir das demais características incluídas no estudo. Acredita-se que o fomento de tecnologias ambientais, ao mesmo tempo que contribuiu para que os países apresentassem um patamar de desenvolvimento científico e econômico nas atividades de seus Sistemas Nacionais de Inovação, ainda não está alinhado aos objetivos centrais de questões ambientais inerentes a cada economia.

Sobremaneira, os tratados e protocolos internacionais influenciaram a produção de tecnologias ambientais, como observado pelos resultados na análise preliminar dos patentes ambientais dos países, principalmente entre os anos 1995 a 2000. O Protocolo de Kyoto, um dos acordos mais importantes em direção à redução de emissão de gases foi talvez um dos grandes responsáveis pelo aumento e fomento das patentes ambientais no período supracitado. Além disso, outros fatores condicionantes utilizados nesta pesquisa e investigados por intermédio de análises multivariadas permitiram uma avaliação qualitativa das informações e das caracterizações entre os países. As análises multivariadas utilizadas, a Análise Qualitativa Comparativa (QCA), a Análise de *Clusters* e a Análise Discriminante, abrangeram uma amostra maior de países englobando, ao todo, quarenta nações desenvolvidas e em desenvolvimento, que permitiram e contribuíram para um melhor agrupamento das nações, a partir das características avaliadas. Os resultados da QCA mostraram que os condicionantes analisados induzem, em diferentes graus, a atividade tecnológica ambiental dos países, principalmente nas economias desenvolvidas. Em outras palavras, a produção das tecnologias ambientais é condicionada pela boa infraestrutura científica, estrutural, pelo alto nível de desenvolvimento econômico e pela capacidade de produção das energias alternativas.

Nos anos 1990 e 2000, visualizou-se que grande parte das configurações dos países não apresentou como fator preponderante a produção tecnológica ambiental à condição de emissões de gás CO₂. Somente no ano de 2010, o fator determinante das emissões de gases constituiu um elemento para a realização das inovações ambientais. Nesse sentido, este resultado parece indicar que o papel das regulações apresentou também o efeito de promover e estimular a produção de tecnologias ambientais, ao mesmo em tempo que os países não inibiram ou desaceleraram seu processo de crescimento econômico. Países em desenvolvimento como o Brasil, a China, a Coréia do Sul e a Turquia obtiveram destaque de acordo com o conjunto de combinações de condições causais semelhantes aos países desenvolvidos, nos anos 2000 e 2010. Conforme resultados expostos no patenteamento ambiental (Capítulo 3), na análise multivariada e na construção das matrizes tecnológicas, os esforços dos países em desenvolvimento, principalmente a China, com a produção de tecnologias ambientais tornam-se cada vez mais relevantes. Todavia, a participação das economias desenvolvidas quanto a geração e difusão das tecnologias ambientais e o comprometimento da diminuição dos impactos ambientais também devem ser levados em consideração. Entre os países apontados pelo QCA que mostraram um conjunto de condições favoráveis à produção tecnológica, a França, a Suécia, o Reino Unido, a Alemanha, a Espanha e a Holanda se adequam, de acordo

com as condições disponibilizadas, para estabelecer um ambiente favorável à produção tecnológica ambiental sem que as elevadas emissões de poluentes fossem uma condição determinante. Neste aspecto, a partir da investigação preliminar dos fatores condicionantes da atividade tecnológica ambiental, torna-se importante investigar mais a fundo o papel das regulações e o conjunto de fatores que satisfazem a ação dos países em inovar ambientalmente.

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.

No intuito de compreender profundamente as relações entre Ciência e Tecnologia (C&T) ambiental, foi utilizado um método mais sofisticado, o das Matrizes de Interação entre C&T para todos os anos analisados. A partir da amostra de países que compreendem os grupos

BRICS e G7 observou-se que ao longo das três décadas, o impacto das inovações ambientais sobre a produção tecnológica desses países foi fundamental para atingir suas fronteiras tecnológicas, principalmente em relação aos países desenvolvidos. As mudanças e a consolidação em determinadas áreas científicas e subdomínios tecnológicos, como as áreas de Biotecnologia, de Engenharias e setores ligados à saúde envolvem a superação de tecnologias passadas e o aproveitamento de janelas de oportunidades que surgem a partir de novos paradigmas. Os desafios ao longo prazo são impostos com maior rigor aos países em desenvolvimento que, apesar de terem avançado na produção de tecnologias ambientais, nas quais os resultados a partir dos métodos anteriores apontaram um combinado e lento processo de *catching up*, esses países ainda necessitam ultrapassar os obstáculos frente a maior articulação de seus SNIs e de questões multidimensionais que envolvem a infraestrutura científica e tecnológica, além do desenvolvimento econômico, social e cultural.

Em síntese, as contribuições das metodologias aplicadas permitiram avaliar o desempenho e acompanhar as mudanças estruturais ocorridas entre as nações desenvolvidas e em desenvolvimento nas três décadas analisadas. As caracterizações e as configurações específicas analisadas possibilitaram verificar quais economias alinham-se ao desenvolvimento tecnológico ambiental. Assim como as interações científicas e tecnológicas revelaram como a divisão entre SNI maduros e imaturos preservam seus padrões quando as patentes ambientais são examinadas detalhadamente. Nesse âmbito, houve um movimento por parte dos países em direção a um novo paradigma tecnológico ambiental, voltado principalmente para os subdomínios tecnológicos e áreas científicas relacionados ao campo da Biotecnologia. Esta movimentação indicou que a mudança tecnológica no campo ambiental, nas últimas duas décadas, exigiu das economias esforços e incentivos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em campos pautados em tecnologia e meio ambiente, além de investimentos em setores considerados chave, como o da Biotecnologia.

Todos os resultados observados na tese agregam contribuições à literatura e possibilitam avanços quanto ao grau de desenvolvimento tecnológico ambiental nos Sistemas Nacionais de Inovação. 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.

Uma alternativa que pode conciliar uma importante agenda de pesquisa frente aos avanços encontrados na tese refere-se ao aprofundamento das informações ligadas às patentes ambientais. Em outras palavras, a partir da base de dados com a classificação tecnológica das patentes ambientais e de variáveis específicas ao contexto ambiental, social e científico, será possível elaborar pesquisas que contribuirão para: a) investigar os principais fatores determinantes e acordos internacionais que potencializem a expansão das atividades tecnológicas ambientais em economias mundiais; b) analisar de acordo com os fatores identificados, quais seriam aqueles que mais influenciariam e levariam a uma dinâmica diferenciada das correspondentes atividades tecnológicas nos Sistemas Nacionais de

Inovação. Por fim, o tema relativo às inovações ambientais e à dinâmica sistêmica que envolve os Sistemas Nacionais de Inovação é amplo e bastante diverso. O trabalho e o esforço empreendido na tese representam o primeiro passo rumo ao desenvolvimento de soluções em nível tecnológico ambiental, atrelado também ao caráter multidimensional dos problemas ambientais globais.

REFERÊNCIAS

- ACS, Z. J.; AUDRETSCH, D. B. Patents as a measure of innovative activity. **Kyklos-International Review for Social Sciences**, v.42, n.2, p.171-180, 1989.
- ALBORNOZ, F., COLE, M. A., ELLIOT, R. J. R., ERCOLANI, M. G. In search of environmental spillovers. **The World Economy**. v. 32, n. 1, p. 136-163, 2009.
- 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.
- ALBUQUERQUE, E. M. *Catching up* no século XXI: construção combinada de sistemas de inovação e de bem estar social. In: SICSÚ, J., MIRANDA, P. C. **Crescimento Econômico: Estratégias e Instituições**. Rio de Janeiro: Ipea, 2009. cap. 3, p. 55-84.
- ANDRADE, E. C. Externalidades. Capítulo 2. In: BIDERMAN, C., ARVATE, P. **Economia do Setor Público no Brasil**. P. 16-33. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005, cap.2, p. 16-33.
- ANTONIOLI, D., MANCINELLI, S., MAZZANTI, M. Is environmental innovation embedded within high-performance organisational changes? The role of human resource management and complementarity in green business strategies. **Research Policy**. v. 42, n.4, p. 975-988, 2013.
- ARCHIBUGI, D., PIANTA, M. Measuring technological change through patents and innovation surveys. **Technovation**. v. 16, n. 9, p. 451-468, 1996.
- ARRUDA, C., CARVALHO, F. **Inovações ambientais: oportunidades de negócios, políticas públicas e tecnologias**. 1ª. Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- ARTHUR, B. Competing Technologies, increasing returns and lock in by historical events. **The Economic Journal**. v. 99, n. 394, p. 116-131, 1989.
- 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.
- BARBIERI, J. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 1ª. Edição. São Paulo: Saraiva, 2004.
- BARRET, S. The Coming Global Climate-Technology Revolution. **Journal of Economic Perspectives**. v. 23, n. 2, p. 53-75, 2009.
- BASSECOULARD, E., ZITT, M. Patents and publications: The lexical connection. In: MOED, H. F., GLÄNZEL, W., SCHMOCH, U. **Handbook of quantitative science and technology research: the use of publication and patent statistics in studies of S&T systems**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. cap. 30, p. 665-694.

BEISE, M., RENNINGS, K. Indicators for Lead Markets of Environmental Innovations. In: Horbach, J. (Ed.). **Indicator Systems for Sustainable Innovation**, Germany: Springer, 2005. cap.4, p 71-94.

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.

BERNARDES, A. T., ALBUQUERQUE, E. M. Cross-over, thresholds, and interactions between science and technology: Lessons for less-developed countries. **Research Policy**. v. 32, n. 5, p. 865-885, 2003.

BERGEK, A., BERGGREN, C. The impact of environmental policy instruments on innovation: a review of energy and automotive industry studies. **Ecological Economics**, v.106, p.112-113, 2014.

BHATE, S. One world, one environment and one vision: are we close to achieving this? **Journal of Consumer Behaviour**, v.2, n. 2, p. 168-184, 2002.

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.

CALINSKI, T., HARABASZ, J. A dendrite method for cluster analysis. **Communication in statistics**, v.3, n.1, p. 1-27, 1974.

CARRILLO-HERMOSILLA, J., DEL RIO, P., KONOLLA, T. Diversity of eco-innovations: reflections from selected case studies. **Journal of Cleaner Production**, v.18, n.10-11, p. 1073-1083, 2010.

CMMAD. Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. 2ª. Edição. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1988.

CONCEIÇÃO, P., KAUL, I. Financing Global Public Goods: Responding to Global Environmental Changes. In: WIJEN, F., ZOETEMAN, K., PIETERS, J., VAN SETERS, P. **A Handbook of Globalization and Environmental Policy**. 2ª. Edição. Massachusetts: Edward Elgar, 2012. cap. 16, p. 467-489.

CONSTANTINI, V., CRESPI, F., CURCI, Y. Biopat: an investigation tool for analysis of industry evolution, technological paths and policy impact in the biofuels sector. In: V. CONSTANTINI, M. MAZZANTI. **The Dynamics of Environmental and Economics Systems: Innovation, Environment Policy and Competitiveness**. Springer: Dordrecht, 2013. cap. 11, p. 203-226.

CONSTANTINI, V., M. MAZZANTI. **The Dynamics of Environmental and Economics Systems: Innovation, Environment Policy and Competitiveness**. 1ª. Edição. Dordrecht: Springer, 2013.

COPENHAGEN ECONOMICS. Innovation of energy Technologies: the role of taxes. Final Report. DG Taxation and Customs Union. 2010. Disponível em:

<http://ec.europa.eu/taxation_customs/resources/documents/common/publications/studies/taxation_energy_innov.pdf>.

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.

DALY, H.; FARLEY, J. **Ecological Economics: principles and applications**. 2^a. Edição. Washington: Library of Congress, 2004.

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.

DEL RIO, P., MORÁN, M. A. T., ALBIÑANA, F. C. Analysing the determinants of environmental technology investments: a panel data study of Spanish industrial sectors. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, p. 1.170-1.179, 2011.

DEMIREL, P., KESIDOU, E. Stimulating different types of Eco-Innovation in the UK: Government Policies and Firm Motivations. **Ecological Economics**, v. 70, n.8 , p.1546-1557, 2011.

DIAS, O. C. Análise Qualitativa Comparativa (QCA) Usando Conjuntos Fuzzy – Uma Abordagem Inovadora para Estudos Organizacionais no Brasil. XXXV Encontro da ANPAD. **Anais**. Rio de Janeiro: (EnANPAD). 2011.

DINIZ, C. C., SANTOS, F., CROCCO, M. Conhecimento, inovação e desenvolvimento regional/local .In: DINIZ, C. C., CROCCO, M. **Economia Regional e Urbana: Contribuições Teóricas Recentes**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. P.87-122.

DOSI, G. **Technical change and industrial transformation: the teory and an application to the semiconductor industry**. London: Macmillan, 1984.

DOSI, G. Sources, procedures, and microeconomic effects of inovation. **Journal of Economic Literature**. v.26, n.3, p. 1120-1171, 1988.

DOSI, G., PAVITT, K., SOETE, L. **The Economics of Technical Change and International Trade**. Brighton : Wheatsheaf, 1990.

DUDA, R. O., HART, P. E. **Pattern recognition and scene analysis**. New York: John Wiley, 1973.

EKINS, P. Eco-innovation for environmental sustainability: concepts, progress and policies. **International Economics and Economic Policy**. v. 7, n.2, p. 267- 290, 2010.

EPO. European Patent Office. Data Catalog. **EPO Worldwide Patent Statistical Database**. April 2013.

FAGERBERG, J. Technology and international differences in growth rates. **Journal of Economic Literature**, v. 32, n.3, p. 1147-1175, 1994.

FOXON, T. J., ANDERSEN, M. M. The greening of innovation systems for eco-innovation – towards an evolutionary climate mitigation policy. In: DRUID Summer Conference, 2009. **Anais**. Disponível em: <<http://www2.druid.dk/conferences/viewpaper.php?id=500463&cf=32>>. Acesso em: 26 jul. 2015.

FLORIDA, R. Lean and green: the move to environmentally conscious manufacturing. **California Management Review**. v. 39, n. 1, p. 80-105, 1996.

FREEMAN, C. **Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan**. London: Pinter, 1987.

FREEMAN, C. The “National System of Innovation” in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, v. 19, n. 1, p. 5-24, 1995.

FREEMAN, C., SOETE, L. **A economia da inovação industrial**. Campinas : Editora da Unicamp, 2008.

FREEMAN, C. Continental, national and sub-national innovation systems – complementarity and economic growth. **Research Policy**, v. 31, n.2, p. 191-211, 2002.

FREEMAN, C., PEREZ, C. Structural crisis of adjustment: business cycles and investment behaviour. In: DOSI, G, FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G, SOETE, L. **Technical change and economic theory**. London, Pinter, 1988. Cap. 3, p.38-66.

FRONDEL, M., HORBACH, J., RENNINGS, K. End of pipe or cleaner production? An empirical comparison of environmental innovation decisions across OECD Countries. In: JOHNSTONE, N. **Environmental Policy and Corporate Behaviour**. Edward Elgar Publishing, 2007. Cap.5, p. 174-212.

FURMAN, J. L., PORTER, M. E., STERN, S. The determinants of national innovative capacity. **Research Policy**, v. 31, p. 899-933, 2002.

FUSSLER, C. JAMES, P. **Driving Eco-innovation: a breakthrough discipline for innovation and sustainability**. London: Pitman Publishing, 1997.

GANTER, A., HECKER, A. Configurational paths to organizational innovation: qualitative comparative analyses of antecedentes and contingencies. **Journal of Business Research**, v. 67, n.6, p. 1285-1292, 2014.

GOMEZ, J. M., CHAMON, P. H., LIMA, S. B. Por uma nova ordem energética global? Potencialidades e perspectivas da questão energética entre os países BRICS. **Contexto Internacional**. Rio de Janeiro, v. 34, n.2, p.531-596, 2012.

GONÇALVES, E.; ALMEIDA, E. S. Innovation and spatial knowledge spillovers: evidence from Brazilian patent data. **Regional Studies**, v.43, n.4, p.513-528, 2009.

GOODSTEIN, E., POLASKY, S. **Economics and the environment**. 7^a. Edição. United States: Wiley, 2014.

GLOBAL CARBON ATLAS. **Dados sobre emissões de CO₂**. 2014. Disponível em: <<http://www.globalcarbonatlas.org>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

GRILICHES, Z. Patent statistics as economic indicators: a survey. **Journal of Economic Literature**, v.8, n.4, p. 1661-1707, 1990.

GURGEL, M. C. A., VASCONCELOS, F. C. Configurações Estratégicas de Firms Brasileiras de Alto Desempenho Listadas na BM&FBOVESPA. **Revista de Administração Contemporânea (RAC)**. v. 16, n. 4, p. 586-607, 2012.

HAIR, J. G., ANDERSON, R. E., TATHAM, R. L. BLACK, W. C. **Multivariate Data Analysis**. 5^a. 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.

HOPKINS, N. S., MEHANNA, S. R. Social action against everyday pollution in Egypt. **Human Organization**, v. 59, n.2, p. 245 – 254, 2000.

HORBACH, J., RAMMER, C., RENNINGS, K. Determinantes da EcoInovação por tipo de impacto ambiental: o papel da pressão regulatória, da alavancagem tecnológica e do fator mercado. In: ARRUDA, C., CARVALHO, F. **Inovações ambientais: políticas públicas, tecnologias e oportunidades de negócios**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014, cap. 3, p. 67- 100.

INPI. **Manual para o depositante de patentes**. Diretoria de Patentes – DIRPA, Abril de 2015. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/patente/arquivos/manual-para-o-depositante-de-patentes.pdf>> Acesso em: jan. 2015.

JABBOUR, C. J. C., Tecnologias ambientais: em busca de um significado. **Revista de Administração Pública**. Rio de Janeiro, v. 44, n. 3, p. 591-611, 2010.

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.

JAFFE, A. B., NEWELL, R. G., STAVINS, R. N. A tale of two market failures: technology and environmental policy. **Ecological Economics**, v. 54, n. 2-3, p. 164-174, 2005.

JANSEN, M., KECK, A. National Environmental Policies and Multilateral Trade Rules. In: WIJEN, F., ZOETEMAN, K., PIETERS, J., VAN SETERS, P. **A Handbook of Globalization and Environmental Policy**. 2^a. Edição. Massachusetts: Edward Elgar, 2012, cap. 6, p. 167-210.

JENNRICH, R. I. An asymptotic chi² test for the equality of two correlation matrices. **Journal of the American Statistical Association** v. 65, n. 330, p. 904-912, 1970.

JOHNSON, R. A., WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 6ª edição, 2007.

JOHNSTON, R. E. Technical Progress and Innovation. **Oxford Economic Papers**. V.18, n. 2, p. 158-176, 1966.

JOHNSTONE, N., HAŠČIČ, I., OSTERTAG, K. **Environmental Policy, Technological Innovation and Patent Activity**. OECD Studies on Environmental Innovation. OECD Publishing. Paris, 2008.

JOHNSTONE, N., HAŠČIČ, N., POPP, D. Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts. **Environmental and Resource Economics**. v. 45, n. 1, p. 133-155, 2010.

KEMP, R. Technology and the transition to environmental sustainability: the problem of technological regime shifts. **Futures**. v. 26, n. 10, p. 1023-1046, 1994.

KEMP, R., ARUNDEL, A. Survey indicators for environmental innovation. **IDEA Paper Series 8**. 1998. Disponível em:
<<http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/226478/Idea8.pdf?sequence=>>>. Acesso em: 26 ago. 2015.

KEMP, R.; SOETE, L. Inside the “green box”: on the economics of technological change and the environment. In: FREEMAN, C. SOETE, L. **New explorations in the economics of technological change**. London: Pinter Publishers, cap. 13, p. 245- 257, 1990.

KEMP, R; SOETE, L. The greening of technological progress: an evolutionary perspective. **Futures**. v. 24, n. 5, p. 437- 457, 1992.

KENT, R. **Using fsQCA: a brief guide and work-shop for fuzzy-set qualitative comparative analysis**. Teaching Paper N.3. Manchester: The Cathie Marsh Centre, University of Manchester. Online, 2008.

KIM, L., NELSON, R. R., **Tecnologia, aprendizado e inovação: as experiências das economias de industrialização recente**. Editora Unicamp, 2005.

LANJOUW, J. O., MODY, A. Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology. **Research Policy**, v. 25, p. 549-571, 1996.

LONGEST, K. C., VAISEY, S. Fuzzy: A program for performing qualitative comparative analyses (QCA) in Stata. **The Stata Journal**. v. 8, n. 1, p. 79-104, 2008.

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. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12140/tde-03122013-191013/>>>. Acesso em: 2015-03-19.

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

LUSTOSA, M. C. J; YOUNG, C. E. F. Política Ambiental. IN: KUPFER, D.; HASENCLEVER, L. **Economia Industrial: Fundamentos teóricos e práticas no Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002, cap. 24. p. 569-589.

MAZZOLENI, R., NELSON, R. The roles of research at universities and public labs in economic *catch-up*. **Research Policy**. v. 36, n. 10, p. 1512-1528, 2007.

MEI. Measuring Eco-innovation. (Report). European Project (FP6-2005-SSP-5A). **Final Report. 2008**. Disponível em: <<http://www.oecd.org/env/consumption-innovation/43960830.pdf>> . Acesso em: 02 de dezembro de 2014.

MEUER, J., RUPIETTA, C., BACKES-GELLNER, U. Layers of co-existing innovation systems. **Research Policy**, v. 44, n. 4, p. 888-910, 2015.

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

MIRANDA, P. A. A internacionalização das atividades tecnológicas e a inserção dos países em desenvolvimento: uma análise baseada em dados de patentes. **Tese** (Doutorado em Economia). Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), 2014. Disponível em:< <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000928398> >. Acesso em: jan. 2016.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira 2013**. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3597128/01+-+Resenha+Energ%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+Energ%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+Energ%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.

NARIN, F., NOMA, E. Is technology becoming science ? **Scientometrics**. v. 7, n. 3-6, p. 369-381, 1985.

NARIN, F., HAMILTON, K. S., OLIVASTRO, D. The increasing linkage between U.S. technology and public science. **Research Policy**. v. 26, n. 3, p. 317-330, 1997.

NELSON, R. R. **National Systems of Innovation: A Comparative Study**. Columbia University: Oxford University Press. 1993.

NELSON, R., WINTER, S. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge, Mss, London: The Belknap Press of Harvard University Press, 1982.

NELSON, R. Institutions supporting technical change in the United States. In: G. DOSI, C. FREEMAN, R. NELSON, G. SILVERBERG, L. SOETE. **Technical change and economic theory**. London: Pinter, 1988.p. 312-329.

NICOLLI, F. Waste Technological Dynamics and Policy Effects: Evidence from OECD Patent Data. In: V. CONSTANTINI, M. MAZZANTI. **The Dynamics of Environmental and Economics Systems: Innovation, Environment Policy and Competitiveness**. Springer: Dordrecht, 2013. Cap. 10. P. 179-201.

OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. Guidelines for collecting and interpreting innovation data. **Oslo Manual**. 3^a. Edição. 2005. Disponível em: <<http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/9205111e.pdf?expires=1422450025&id=id&accname=ocid195206&checksum=179150EEAFA1BF1465DD0239785F80A9>>. Acesso em: 03 de janeiro de 2015.

OECD. **Manual de Estatísticas de Patentes 2009**. Disponível em: <<http://www.oecd.org/science/inno/oecdpatentstatisticsmanual.htm>>. Acesso em: 20 de julho de 2014.

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.

OECD. Measuring Globalisation. **OECD Economic Globalisation Indicators 2010**. Organisation for Economic Co-operation and Development. Disponível em: <<http://unstats.un.org/unsd/EconStatKB/Attachment550.aspx>>. Acesso em: 14 fev. 2015.

OECD. **Informações sobre a China**. OECD Science, Technology and Industry Outlook 2008. OECD Publishing. Disponível em: <<http://www.oecd.org/innovation/inno/oecdreviewsofinnovationpolicychina.htm>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

OLTRA, V. Environmental innovation and industrial dynamics: the contributions of evolutionary economics. **Working Papers of GREThA**, n° 2008-28. 2008. Disponível em:<<http://ideas.repec.org/p/grt/wpegrt/2008-28.html>>.Acesso em: 14 jul. 2014.

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.

OLSEN, W., NOMURA, H. **Poverty Reduction – Fuzzy Sets vs. Crisp Sets Compared. Sociological Theory and Method**. v.24, n. 2, p. 219-246, 2009.

OOSTERHUIS, F. Innovation dynamics induced by environmental policy. **Final report to the European Commission DG Environment**. IVM Report E-07/05. November, 2006. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/enveco/policy/pdf/2007_final_report_conclusions.pdf>. Acesso em: 12 de julho de 2014.

PACI, R., USAI, S. Knowledge flows across European regions. **Working Papers, CRENoS**, n. 4, 2007. Disponível em: < <http://www.crenos.it/working/pdf/07-04.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

PEIRÓ-SIGNES, A., SEGARRA-OÑA, M., MONDÉJAR-JIMÉNEZ, J. What to do to improve our Eco-Innovation aptitudes? An empirical study on the variables affecting the environmental awareness of firms while innovating. **International Journal of Environmental Research**, v. 8, n. 3, p.831-838, 2014.

PIETERS, J. Standards and the Internalisation of Environmental Practices and Policies. In: WIJEN, F., ZOETEMAN, K., PIETERS, J., VAN SETERS, P. **A Handbook of Globalization and Environmental Policy, Second Edition. National Government Interventions in a Global Arena**, Massachusetts: Edward Elgar, 2012. Cap. 8. p. 241-271.

POPP, D. Pollution control innovations and the clean air act of 1990. **Journal of Policy Analysis and Management**, v. 22, n.4, p. 641-660, 2003.

POPP, D. International Innovation and Difusion of Air Pollution Control Technologies: the Effects of NOx and SO₂ Regulation in the US, Japan and Germany. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 51, n. 1, p. 46-71, 2006.

PORTER, M. E., America's green strategy. **Scientific American**. v. 264, n.4, 1991.

PORTER, M. E., VAN DER LINDE, C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. **Journal of Economic Perspectives**, v. 9, n. 4, p. 97-118, 1995.

QUEIROZ, J. M., PODCAMENI, M. G. B. Estratégia inovativa das firmas brasileiras: convergência ou divergência com as questões ambientais? **Revista Brasileira de Inovação**. v. 13, n. 1, p. 187-224, 2014.

RAGIN, C. C. **Fuzzy-Set Social Science**. Chicago: University of Chicago Press. 2000.

RAGIN, C. C. **Redesigning social inquiry – fuzzy sets and beyond**. Chicago: University of Chicago Press, 2008 a.

RAGIN, C. C., Measurement *versus* Calibration: a set-theoretic approach.. In: BOX-STEFFENSMEIER, J. M., BRADY, H. E., COLLIER, D. USA, **The Oxford Handbook of Political Methodology** 2008b. cap.8 p. 174-198.

RAGIN, C. C. **The comparative method: moving beyond qualitative and quantitative strategies**. Berkeley: University of California Press, 1987.

RAGIN, C. C. Set relations in Social Research: evaluating their consistency and coverage. **Political Analysis**, v. 14, p. 291-310, 2006.

RAGIN, C. C. From fuzzy sets to crisp Thuth Tables. **Compass Working Paper** WP 2004-28, 2005. Disponível em:< <http://www.compass.org/wpseries/Ragin2004.pdf> >. Acesso em: 13 dez. 2015.

RAPINI, M. Interação Universidade-Empresa no Brasil: Evidências do Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq. **Estudos Econômicos**. v. 37, n. 1, p. 212-233, 2007.

RAVE, T., GOETZKE, F., LARCH, M. The Determinants of Environmental Innovations and Patenting: Germany Reconsidered. **IFO Working Papers No. 97**, Feb.2011. Disponível em:<https://ideas.repec.org/p/ces/ifowps/_97.html#biblio-body>. Acesso em: 16 dez. 2015.

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.

RIBEIRO, L. C., RUIZ, R. M., BERNARDES, A. T., ALBUQUERQUE, E. M. Matrices of science and technology interactions and patterns of structured growth: implications for development. **Scientometrics** . v. 83, n. 1, p. 55-75., 2010.

RIBEIRO. L. C., RUIZ, R. M., ALBUQUERQUE, E. M., BERNARDES, A. T. National Systems of Innovation and Technological Differentiation: A multi-country model. **International Journal of Modern Physics**. v. 17, n. 2, p. 247-257, 2006a.

RIBEIRO. L. C., RUIZ, R. M., BERNARDES, A. T., ALBUQUERQUE, E. M. Science in the developing world: Running twice as fast? **Computing in Science and Engineering**, v.8, n.4, p. 81-87, 2006 b.

RIHOUX, B., RAGIN, C. C. **Configurational Comparative Methods: Qualitative Comparative Analysis (QCA) and related techniques**. Applied Social Research Methods Series, V. 51. USA: SAGE Publications, 2009.

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.

SEGARRA-OÑA, M. V., PEIRÓ-SIGNES, A. Eco-innovation determinants in service industries. **Dirección y Organización**, v. 50, p. 5-16, 2013.

SCHNEIDER, C. Q., GROFMAN, B. **It might look like a regression...but it's not! An intuitive approach to the presentation of QCA and Fs/QCA results**. Compass Working Paper, Working Paper2006-39, 2006. Disponível em:<<http://www.compass.org/wpseries/SchneiderGrofman2006.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2015.

SCHUMPETER, J. A. **The Theory of Economic Development**. Cambridge/Massachusetts: Harvard University Press, 1934.

SILVEIRA, J. M. F. J., FUTINO, A. M., OLALDE, A. R. Biotecnologia: corporações, financiamento da inovação e novas formas organizacionais. **Revista Economia e Sociedade**, v. 11, n. 1, p. 129-164, 2002.

SCOTT, J. T. **Environmental Research and Development: US Industrial Research, the Clean Air Act and Environmental Damage**. Cheltenham, Northampton: Edward Elgar Publishing, 2003.

SOETE, L., VERSPAGEN, B., TER WEEL, B. Systems of Innovation. In: ARROW, K. J., INTRILIGATOR, M. D. **Handbooks of the Economics of Innovation**. V. 2, Cap. 27, p. 1.160-1.178, 2010.

SUN, Y. Spatial Distribution of Patents in China. **Regional Studies**, v. 34, n. 5, p. 441-454, 2000.

TAYLOR, M. R., E.S. RUBIN AND D.D. HOUNSHELL. Effect of government actions on technological innovations for SO₂ control. **Environmental Science and Technology**, v. 37, n.20, p. 4527- 4534, 2003.

TGCII. **The Global Cleantech Innovation Index**. Nurturing Tomorrow's Transformative Entrepreneurs. Cleantech Group e WWF. 2014. Disponível em: http://awsassets.wwf.org.za/downloads/wwf_report_global_cleantech_innovation_index_2014_final.pdf. Acesso em: 11 de julho de 2014.

TIGRE, P. B. Inovação e teorias da firma em três paradigmas. **Revista de Economia Contemporânea**. n. 3, p. 67- 111. 1998.

TIGRE, P. B. **Gestão da Inovação: a economia da tecnologia no Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1^a. Edição, 2006.

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

TURUGA, R. M. R, HOWARTH, R. B., BORSUK, M. E. Pro-environmental behavior: rational choice meets moral motivation. **Anais. New York: Academy of Science**, 1185, p. 211-224, 2010.

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

WINDRUM, P., CIARLI, T., BIRCHENHALL, C. Consumer heterogeneity and the development of environmentally friendly Technologies. **Technological Forecasting and Social Change**. v. 76, n. 4, p. 533-551, 2009.

ZITT, M., RAMANANA-RAHARY, S., BASSECOULARD, E., LAVILLE, F. Potential science-technology spillovers in regions: an insight on geographic co-location of knowledge activities in the EU. **Scientometrics**. V. 57, n.2, p.295-320, 2003.

ANEXOS

ANEXO A – Classificação das tecnologias verdes adotadas, de acordo com a classe tecnológica IPC

A- Produção de Energia Alternativa (ALTERNATIVE ENERGY PRODUCTION)	
1-Biocombustíveis (Bio-fuels)	Classificação CIP
1.1-Combustíveis sólidos (Solid fuels)	C10L 5/00; C10L 5/40; C10L 5/41; C10L 5/42; C10L 5/43; C10L 5/44; C10L 5/45; C10L 5/46; C10L 5/47; C10L 5/48
1.1.1-Torrefação de biomassa (Torrefaction of biomass)	C10B 53/02 C10L 5/40; C10L 9/00
1.2-Combustíveis líquidos (Liquid fuels)	C10L 1/00; C10L 1/02; C10L 1/14
1.2.2-Óleos Vegetais (Vegetable oils)	C10L 1/02; C10L 1/19
1.2.3-Biodiesel (Biodiesel)	C07C 67/00; C07C 69/00; C10G; C10L 1/02; C10L 1/19; C10L 1/02; C10L 1/19; C11C 3/10; C12P 7/64
1.2.4-Bioetanol (Bioethanol)	C10L 1/02; C10L 1/182; C12N 9/24; C12P 7/06; C12P 7/08; C12P 7/10; C12P 7/12; C12P 7/14
1.3-Biogás (Biogas)	C02F 3/28; C02F 11/04; C10L 3/00; C12M 1/107; C12P 5/02
1.3.1-A partir de organismos geneticamente modificados (From genetically engineered organisms)	C12N 1/13; C12N 1/15; C12N 1/21; C12N 5/10; C12N 15/00; A01H
2-Ciclo Combinado de Gaseificação Integrada (Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC))	C10L 3/00; F02C 3/28
3-Células de combustível (Fuel cells)	H01M 4/86; H01M 4/88; H01M 4/90; H01M 4/92; H01M 4/94; H01M 4/96; H01M 4/98; H01M 8/00; H01M 8/02; H01M 8/04; H01M 8/06; H01M 8/08; H01M 8/10; H01M 8/12; H01M 8/14; H01M 8/16; H01M 8/18; H01M 8/20; H01M 8/22; H01M 8/24; H01M 12/00; H01M 12/02; H01M 12/04; H01M 12/06; H01M 12/08
3.1-Eletrodos (Electrodes)	H01M 4/86; H01M 4/88; H01M 4/90; H01M 4/92; H01M 4/94; H01M 4/96; H01M 4/98
3.1.1-Eletrodos inertes com atividade catalítica (Inert electrodes with catalytic activity)	H01M 4/86; H01M 4/88; H01M 4/90; H01M 4/92; H01M 4/94; H01M 4/96; H01M 4/98
3.1.2-Partes não ativas (Non-active parts)	H01M 2/00; H01M 2/02; H01M 2/04; H01M 8/00; H01M 8/02; H01M 8/04; H01M 8/06; H01M 8/08; H01M 8/10; H01M 8/12; H01M 8/14; H01M 8/16; H01M 8/18; H01M 8/20; H01M 8/22; H01M 8/24
3.1.3-Dentro de células híbridas (Within hybrid cells)	H01M 12/00; H01M 12/02; H01M 12/04; H01M 12/06; H01M 12/08
4-Pirólise ou gaseificação (Pyrolysis or gasification of)	C10B 53/00; C10J
5-Aproveitamento de energia a partir de resíduos gerados pelo homem (Harnessing energy from man made waste)	Classificação CIP
5.1-Resíduos agrícolas (Agricultural waste)	C10L 5/00
5.1.1-Combustível a partir de resíduos animais e resíduos de plantações (Fuel from animal waste and crop residues)	C10L 5/42; C10L 5/43; C10L 5/44
5.1.2-Incineradores de campo, jardim ou de resíduos de madeira (Incinerators for field, garden or wood waste)	F23G 7/00; F23G 7/10
5.2-Gaseificação (Gasification)	C10J 3/02; C10J 3/46; F23B 90/00; F23G 5/027
5.3-Resíduos químicos (Chemical waste)	B09B 3/00; F23G 7/00
5.4-Resíduos industriais (Industrial waste)	C10L 5/48; F23G 5/00; F23G 7/00
5.4.1-Usando alto forno a gás na produção de ferro-gusa (Using top gas in blast furnaces to power pig-iron production)	C21B 5/06
5.4.2-Licores de celulose (Pulp liquors)	D21C 11/00
5.4.3-Digestão anaeróbia de resíduos industriais (Anaerobic digestion of industrial waste)	A62D 3/02; C02F 11/04; C02F 11/14
5.4.4-Resíduos de madeira industrial (Industrial wood waste)	F23G 7/00; F23G 7/10
5.5-Resíduos hospitalares (Hospital waste)	B09B 3/00; F23G 5/00
5.6-Gás de aterro sanitário (Landfill gas)	B09B
5.6.1-Separação de componentes (Separation of components)	B01D 53/02; B01D 53/04; B01D 53/047; B01D 53/14; B01D 53/22; B01D 53/24
5.7-Resíduos sólidos urbanos (Municipal waste)	C10L 5/46; F23G 5/00

(continuação)

6-Hidroenergia (<i>Hydro energy</i>)	Classificação CIP
6.1-Geração de energia hidrelétrica (<i>Water-power plants</i>)	E02B 9/00; E02B 9/02; E02B 9/04; E02B 9/06
6.1.1-Centrals energéticas produzidas por ondas ou marés (<i>Tide or wave power plants</i>)	E02B 9/08
6.2-Máquinas ou motores utilizando líquidos (<i>Machines or engines for liquids</i>)	F03B; F03C
6.2.1-Utilização de energia produzida por onda ou maré (<i>Using wave or tide energy</i>)	F03B 13/12; F03B 13/13; F03B 13/14; F03B 13/15; F03B 13/16; F03B 13/17; F03B 13/18; F03B 13/19; F03B 13/20; F03B 13/21; F03B 13/22; F03B 13/23; F03B 13/24; F03B 13/25; F03B 13/26
6.3-Regulação, controle ou meios de segurança para máquinas e motores (<i>Regulating, controlling or safety means of machines or engines</i>)	F03B 15/00; F03B 15/02; F03B 15/04; F03B 15/06; F03B 15/08; F03B 15/10; F03B 15/12; F03B 15/14; F03B 15/16; F03B 15/18; F03B 15/20; F03B 15/22
6.4-Movimentação de embarcações que utilizam energia derivada do movimento da água (<i>Propulsion of marine vessels using energy derived from water movement</i>)	B63H 19/02; B63H 19/04
7- Conversão de energia térmica dos oceanos (<i>Ocean thermal energy conversion (OTEC)</i>)	F03G 7/05
8-Energia eólica (<i>Wind energy</i>)	F03D
8.1-Associação estrutural do gerador elétrico com motor de condução mecânica (<i>Structural association of electric generator with mechanical driving motor</i>)	H02K 7/18
8.2-Aspectos estruturais das turbinas eólicas (<i>Structural aspects of wind turbines</i>)	B63B 35/00; E04H 12/00; F03D 11/04
8.3-Movimentação de veículos utilizando a energia eólica (<i>Propulsion of vehicles using wind power</i>)	B60K 16/00
8.3.1-Propulsão elétrica de veículos utilizando energia eólica (<i>Electric propulsion of vehicles using wind power</i>)	B60L 8/00
8.4-Movimentação de embarcações por motores movidos a vento (<i>Propulsion of marine vessels by wind-powered motors</i>)	B63H 13/00
9-Energia Solar (<i>Solar energy</i>)	
9.1-Energia Fotovoltaica (<i>Photovoltaics (PV)</i>)	
9.1.1-Dispositivos adaptados para a conversão de energia da radiação em energia elétrica (<i>Devices adapted for the conversion of radiation energy into electrical energy</i>)	H01L 27/142; H01L 31/00; H01L 31/02; H01L 31/0203; H01L 31/0216; H01L 31/0224; H01L 31/0232; H01L 31/0236; H01L 31/024; H01L 31/0248; H01L 31/0256; H01L 31/0264; H01L 31/0272; H01L 31/028; H01L 31/0288; H01L 31/0296; H01L 31/0304; H01L 31/0312; H01L 31/032; H01L 31/0328; 0336; H01L 31/0352; H01L 31/036; H01L 31/0368; H01L 31/0376; H01L 31/0384; H01L 31/0392; H01L 31/04; H01L 31/042; H01L 31/045; H01L 31/048; H01L 31/05; H01L 31/052; H01L 31/055; H01L 31/058; H01L 31/06; H01L 31/061; H01L 31/062; H01L 31/065; H01L 31/068; H01L 31/0687; H01L 31/0693; H01L 31/07; H01L 31/072; H01L 31/0725; H01L 31/073; H01L 31/0735; H01L 31/074; H01L 31/0745; H01L 31/0747; H01L 31/0749; H01L 31/075; H01L 31/076; H01L 31/077; H01L 31/078; H01G 9/20; H02N 6/00
9.1.1.1-Utilização de materiais orgânicos como a parte ativa (<i>Using organic materials as the active part</i>)	H01L 27/30; H01L 51/42; H01L 51/44; H01L 51/46; H01L 51/48
9.1.2-Conjunto da pluralidade de células solares (<i>Assemblies of a plurality of solar cells</i>)	H01L 25/00; H01L 25/03; H01L 25/16; H01L 25/18; H01L 31/042
9.1.3-Silício; crescimento de um único cristal de silício (<i>Silicon; single-crystal growth</i>)	C01B 33/02; C23C 14/14; C23C 16/24; C30B 29/06
9.1.4-Regulador da potência máxima disponível das células solares (<i>Regulating to the maximum power available from solar cells</i>)	G05F 1/67
9.1.5-Dispositivos de iluminação elétrica ou dispositivos recarregáveis com células solares (<i>Electric lighting devices with, or rechargeable with, solar cells</i>)	F21L 4/00; F21S 9/03
9.1.6-Carregamento de baterias (<i>Charging batteries</i>)	H02J 7/35
9.1.7-Células solares sensibilizadas por corantes (<i>Dye-sensitised solar cells (DSSC)</i>)	H01G 9/20; H01M 14/00
9.2- Uso do calor solar (<i>Use of solar heat</i>)	F24J 2/00; F24J 2/02; F24J 2/04; F24J 2/05; F24J 2/06; F24J 2/07; F24J 2/08; F24J 2/09; F24J 2/10; F24J 2/12; F24J 2/13; F24J 2/14; F24J 2/15; F24J 2/16; F24J 2/18; F24J 2/20; F24J 2/22; F24J 2/23; F24J 2/24; F24J 2/26; F24J 2/28; F24J 2/30; F24J 2/32; F24J 2/34; F24J 2/36; F24J 2/38; F24J 2/40; F24J 2/42; F24J 2/44; F24J 2/46; F24J 2/48; F24J 2/50; F24J 2/51; F24J 2/52; F24J 2/54

(continuação)

9.2.1-Para sistemas domésticos de produção de água quente (<i>For domestic hot water systems</i>)	F24D 17/00
9.2.2-Para aquecimento de ambientes (<i>For space heating</i>)	F24D 3/00; F24D 5/00; F24D 11/00; F24D 19/00
9.2.3-Para piscinas (<i>For swimming pools</i>)	F24J 2/42
9.2.4-Painéis solares ascendentes (<i>Solar updraft towers</i>)	F03D 1/04; F03D 9/00; F03D 11/04; F03G 6/00
9.2.5-Para tratamento de água, águas residuais e lodo (<i>For treatment of water, waste water or sludge</i>)	C02F 1/14
9.2.6-Usinas de turbina a gás que utilizam fonte de calor solar (<i>Gas turbine power plants using solar heat source</i>)	F02C 1/05
9.3-Sistemas termo-solares fotovoltaicos híbridos (<i>Hybrid solar thermal-PV systems</i>)	H01L 31/058
9.4-Movimentação de veículos que utilizam a energia solar (<i>Propulsion of vehicles using solar power</i>)	B60K 16/00
9.4.1-Propulsão elétrica de veículos que utilizam a energia solar (<i>Electric propulsion of vehicles using solar power</i>)	B60L 8/00
9.5-Produção de energia mecânica a partir da energia solar (<i>Producing mechanical power from solar energy</i>)	F03G 6/00; F03G 6/02; F03G 6/04; F03G 6/06
9.6-Materiais de cobertura com dispositivos coletores de energia (<i>Roof covering aspects of energy collecting devices</i>)	E04D 13/00; E04D 13/18
9.7-Geração de vapor utilizando calor solar (<i>Steam generation using solar heat</i>)	F22B 1/00; F24J 1/00
9.8-Refrigeração ou sistemas de bombas de calor (<i>Refrigeration or heat pump systems using solar energy</i>)	F25B 27/00
9.9-Uso da energia solar para secagem de materiais ou objetos (<i>Use of solar energy for drying materials or objects</i>)	F26B 3/00; F26B 3/28
9.10-Concentradores solares (<i>Solar concentrators</i>)	F24J 2/06; G02B 7/183
9.11-Tanques solares (<i>Solar ponds</i>)	F24J 2/04
10-Energia geotérmica (<i>Geothermal energy</i>)	Classificação CIP
10.1-Uso do calor geotérmico (<i>Use of geothermal heat</i>)	F01K; F24F 5/00; F24J 3/08; H02N 10/00; F25B 30/06
10.2-Produção de energia mecânica a partir de energia geotérmica (<i>Production of mechanical power from geothermal energy</i>)	F03G 4/00; F03G 4/02; F03G 4/04; F03G 4/06; F03G 7/04
11-Outra produção ou uso do calor, não derivado da combustão, por exemplo, calor natural (<i>Other production or use of heat, not derived from combustion, e.g. natural heat</i>)	F24J 1/00; F24J 3/00; F24J 3/06
11.1-Bombas de calor em sistemas de aquecimento central utilizando calor acumulado em massas de armazenamento (<i>Heat pumps in central heating systems using heat accumulated in storage masses</i>)	F24D 11/02
11.2-Bombas de calor em sistemas de aquecimento doméstico ou outros espaços (<i>Heat pumps in other domestic- or space-heating systems</i>)	F24D 15/04
11.3-Bombas de calor em sistemas de abastecimento de água quente (<i>Heat pumps in domestic hot-water supply systems</i>)	F24D 17/02
11.4-Aquecedores de água ou ar utilizando bombas de calor (<i>Air or water heaters using heat pumps</i>)	F24H 4/00

(continuação)

12-Bombas de calor (<i>Heat pumps</i>)	F25B 30/00
12.1-Usando calor residual (<i>Using waste heat</i>)	
12.2-Para produzir energia mecânica (<i>To produce mechanical energy</i>)	F01K 27/00
12.3-De motores de combustão (<i>Of combustion engines</i>)	F01K 23/06; F01K 23/08; F01K 23/10; F01N 5/00; F02G 5/00; F28D 5/02; F02G 5/04; F25B 27/02
12.4-De centrais de máquinas a vapor (<i>Of steam engine plants</i>)	F01K 17/00; F01K 23/04
12.5-De centrais de turbinas a gás (<i>Of gas-turbine plants</i>)	F02C 6/18
12.6-Como fonte de energia para instalações de refrigeração (<i>As source of energy for refrigeration plants</i>)	F25B 27/02
12.7-Para o tratamento de água, águas residuais ou de esgoto (<i>For treatment of water, waste water or sewage</i>)	C02F 1/16
12.8-Recuperação do calor residual na produção de papel (<i>Recovery of waste heat in paper production</i>)	D21F 5/20
12.9-Para a geração de vapor pela exploração do conteúdo de calor das baterias armazenadoras de calor (<i>For steam generation by exploitation of the heat content of hot heat carriers</i>)	F22B 1/02
12.10-Recuperação da energia térmica a partir da incineração de resíduos (<i>Recovery of heat energy from waste incineration</i>)	F23G 5/46
12.11-Recuperação de energia no ar condicionado (<i>Energy recovery in air conditioning</i>)	F24F 12/00
12.12-Arranjos para a utilização de calor residual dos fornos, estufas, fogões ou retorta (<i>Arrangements for using waste heat from furnaces, kilns, ovens or retorts</i>)	F27D 17/00
12.13-Aparelho de troca de calor regenerativo (<i>Regenerative heat-exchange apparatus</i>)	F28D 17/00; F28D 17/02; F28D 17/04; F28D 19/00; F28D 19/02; F28D 19/04; F28D 20/00
12.14-De instalações de gaseificação (<i>Of gasification plants</i>)	C10J 3/86
13-Dispositivos para produção de energia mecânica a partir da energia muscular (<i>Devices for producing mechanical power from muscle energy</i>)	F03G 5/00; F03G 5/02; F03G 5/04; F03G 5/06; F03G 5/08

(continuação)

B- TRANSPORTE/(TRANSPORTATION)	Classificação CIP
1-Veículos em geral (<i>Vehicles in general</i>)	
1.1-Veículos Híbridos, por exemplo, veículos híbridos elétricos (<i>Hybrid vehicles, e.g. Hybrid Electric Vehicles (HEVs)</i>)	B60K 6/00; B60K 6/20
1.1.1-Sistemas de Controle (<i>Control systems</i>)	B60W 20/00
1.1.2-Gearings therefor	F16H 3/00; F16H 3/02; F16H 3/04; F16H 3/06; F16H 3/08; F16H 3/083; F16H 3/085; F16H 3/087; F16H 3/089; F16H 3/091; F16H 3/093; F16H 3/095; F16H 3/097; F16H 3/10; F16H 3/12; F16H 3/14; F16H 3/16; F16H 3/18; F16H 3/20; F16H 3/22; F16H 3/24; F16H 3/26; F16H 3/28; F16H 3/30; F16H 3/32; F16H 3/34; F16H 3/36; F16H 3/38; F16H 3/40; F16H 3/42; F16H 3/44; F16H 3/46; F16H 3/48; F16H 3/50; F16H 3/52; F16H 3/54; F16H 3/56; F16H 3/58; F16H 3/60; F16H 3/62; F16H 3/64; F16H 3/66; F16H 3/68; F16H 3/70; F16H 3/72; F16H 3/74; F16H 3/76; F16H 3/78; F16H 48/00; F16H 48/05; F16H 48/06; F16H 48/08; F16H 48/10; F16H 48/11; F16H 48/12; F16H 48/14; F16H 48/16; F16H 48/18; F16H 48/19; F16H 48/20; F16H 48/22; F16H 48/24; F16H 48/26; F16H 48/27; F16H 48/28; F16H 48/285; F16H 48/29; F16H 48/295; F16H 48/30;
1.2-Motores sem escova (<i>Brushless motors</i>)	H02K 29/08
1.3-Embreagens eletromagnéticas (<i>Electromagnetic clutches</i>)	H02K 49/10
1.4-Sistemas de travagem com recuperação de energia (<i>Regenerative braking systems</i>)	B60L 7/10; B60L 7/12; B60L 7/14; B60L 7/16; B60L 7/18; B60L 7/20; B60L 7/22
1.5-Propulsão elétrica com fonte de alimentação da força da natureza, por exemplo, Sol, vento (<i>Electric propulsion with power supply from force of nature, e.g. sun, wind</i>)	B60L 8/00
1.6-Propulsão elétrica com fonte de alimentação externa ao veículo (<i>Electric propulsion with power supply external to vehicle</i>)	B60L 9/00
1.6.1-Com fonte de alimentação de células de combustível, por exemplo, para veículos a hidrogênio (<i>With power supply from fuel cells, e.g. for hydrogen vehicles</i>)	B60L 11/18
1.7-Motores de combustão que operam com combustíveis gasosos, por exemplo, hidrogênio (<i>Combustion engines operating on gaseous fuels, e.g. hydrogen</i>)	F02B 43/00; F02M 21/02; F02M 27/02
1.8-Fonte de alimentação de força da natureza, por exemplo, Sol, vento (<i>Power supply from force of nature, e.g. sun, wind</i>)	B60K 16/00
1.9-Estações de carregamento para veículos elétricos (<i>Charging stations for electric vehicles</i>)	H02J 7/00
2-Veículos com exceção de veículos ferroviários (<i>Vehicles other than rail vehicles</i>)	Classificação CIP
2.1-Redução de atrito (<i>Drag reduction</i>)	B62D 35/00; B62D 35/02; B63B 1/34; B63B 1/36; B63B 1/38; B63B 1/40
2.2-Veículo com tração humana (<i>Human-powered vehicle</i>)	B62K; B62M 1/00; B62M 3/00; B62M 5/00; B62M 6/00
3-Veículos ferroviários (<i>Rail vehicles</i>)	B61
3.1-Redução de atrito (<i>Drag reduction</i>)	B61D 17/02
4-Propulsão marinha de navio (<i>Marine vessel propulsion</i>)	Classificação CIP
4.1-Dispositivos Propulsores diretamente ativos pelo vento (<i>Propulsive devices directly acted on by wind</i>)	B63H 9/00
4.2-Propulsão por motores movidos a vento (<i>Propulsion by wind-powered motors</i>)	B63H 13/00
4.3-Propulsão utilizando energia derivada do movimento da água (<i>Propulsion using energy derived from water movement</i>)	B63H 19/02; B63H 19/04
4.4-Propulsão pela força muscular (<i>Propulsion by muscle power</i>)	B63H 16/00
4.5-Propulsão derivada da energia nuclear (<i>Propulsion derived from nuclear energy</i>)	B63H 21/18
5-Veículos espaciais utilizando a energia solar (<i>Cosmonautic vehicles using solar energy</i>)	B64G 1/44

(continuação)

C- Conservação de Energia (ENERGY CONSERVATION)	Classificação CIP
1-Armazenamento de energia elétrica (<i>Storage of electrical energy</i>)	B60K 6/28; B60W 10/26; H01M 10/44; H01M 10/45; H01M 10/46; H01G 9/155 ; H02J 3/28; H02J 7/00; H02J15/00
2-Circuito da fonte de alimentação (<i>Power supply circuitry</i>)	H02J
2.1-Com modos de economia de energia (<i>With power saving modes</i>)	H02J 9/00
3-Medição do consumo da eletricidade (<i>Measurement of electricity consumption</i>)	B60L 3/00 ; G01R
4-Armazenamento da energia térmica (<i>Storage of thermal energy</i>)	C09K 5/00 ; F24H 7/00 ; F28D 20/00; F28D 20/02
5-Iluminação de baixa energia (<i>Low energy lighting</i>)	Classificação CIP
5.1-Fontes de luz eletroluminescente, por exemplo, LEDs, OLEDs, PLEDs (<i>Electroluminescent light sources (e.g. LEDs, OLEDs, PLEDs)</i>)	F21K 99/00 ; F21L 4/02 ; H01L 33/00; H01L 33/02; H01L 33/04; H01L 33/06; H01L 33/08; H01L 33/10; H01L 33/12; H01L 33/14; H01L 33/16; H01L 33/18; H01L 33/20; H01L 33/22; H01L 33/24; H01L 33/26; H01L 33/28; H01L 33/30; H01L 33/32; H01L 33/34; H01L 33/36; H01L 33/38; H01L 33/40; H01L 33/42; H01L 33/44; H01L 33/46; H01L 33/48; H01L 33/50; H01L 33/52; H01L 33/54; H01L 33/56; H01L 33/58; H01L 33/60; H01L 33/62; H01L 33/64; H01L 51/50; H05B 33/00
6-Isolamento térmico de construção, em geral (<i>Thermal building insulation, in general</i>)	E04B 1/62; E04B 1/74; E04B 1/76; E04B 1/78; E04B 1/80; E04B 1/88; E04B 1/90
6.1-Elementos de isolamento de construção (<i>Insulating building elements</i>)	E04C 1/40; E04C 1/41; E04C 2/284; E04C 2/288; E04C 2/292; E04C 2/296
6.1.1-Para abertura de portas e janelas (<i>For door or window openings</i>)	E06B 3/263
6.1.2-Para paredes (<i>For walls</i>)	E04B 2/00 E04F 13/08
6.1.3-Para pisos (<i>For floors</i>)	E04B 5/00 E04F 15/18
6.1.4-Para telhados (<i>For roofs</i>)	E04B 7/00; E04D 1/28; E04D 3/35; E04D 13/16
6.1.5-Para teto (<i>For ceilings</i>)	E04B 9/00 ; E04F 13/08
7-Recuperando energia mecânica (<i>Recovering mechanical energy</i>)	F03G 7/08
7.1-Acumuladores mecânicos recarregáveis em veículos (<i>Chargeable mechanical accumulators in vehicles</i>)	B60K 6/10; B60K 6/30 ; B60L 11/16

(continuação)

D-GESTÃO DE RESÍDUOS (WASTE MANAGEMENT)	Classificação CIP
1-Eliminação de resíduos (<i>Waste disposal</i>)	B09B; B65F
2-Tratamento de resíduos (<i>Treatment of waste</i>)	Classificação CIP
2.1-Desinfecção ou esterilização (<i>Disinfection or sterilisation</i>)	A61L 11/00
2.2-Tratamento de resíduos perigosos ou tóxicos (<i>Treatment of hazardous or toxic waste</i>)	A62D 3/00, A62D 101/00
2.3-Tratamento de material radioativamente contaminado; disposições de descontaminação para esse efeito (<i>Treating radioactively contaminated material; decontamination arrangements therefor</i>)	G21F 9/00
2.4-Difícil separação (<i>Refuse separation</i>)	B03B 9/06
2.5-Recuperação de solos contaminados (<i>Reclamation of contaminated soil</i>)	B09C
2.6-Tratamento mecânico dos resíduos de papel (<i>Mechanical treatment of waste paper</i>)	D21B 1/08, D21B 1/32
3-Consumo de resíduos pela combustão (<i>Consuming waste by combustion</i>)	F23G
4-Reutilização de materiais desperdiçados (<i>Reuse of waste materials</i>)	Classificação CIP
4.1-Uso de resíduos de borracha em calçados (<i>Use of rubber waste in footwear</i>)	A43B 1/12, A43B 21/14
4.2-Fabricação de artigos a partir de resíduos de partículas de metal (<i>Manufacture of articles from waste metal particles</i>)	B22F 8/00
4.3-Produção de cimento hidráulico a partir de resíduos de materiais (<i>Production of hydraulic cements from waste materials</i>)	C04B 7/24; C04B 7/26; C04B 7/28; C04B 7/30
4.4-Uso de materiais de resíduos para preenchimento de argamassas e concretos (<i>Use of waste materials as fillers for mortars, concrete</i>)	C04B 18/04; C04B 18/06; C04B 18/08; C04B 18/10
4.5-Produção de fertilizantes a partir de resíduos ou rejeitos (<i>Production of fertilisers from waste or refuse</i>)	C05F
4.6-Recuperação ou colaboração de resíduos materiais (<i>Recovery or working-up of waste materials</i>)	C08J 11/00; C08J 11/02; C08J 11/04; C08J 11/06; C08J 11/08; C08J 11/10; C08J 11/12; C08J 11/14; C08J 11/16; C08J 11/18; C08J 11/20; C08J 11/22; C08J 11/24; C08J 11/26; C08J 11/28; C09K 11/01; C11B 11/00; C11B 13/00; C11B 13/02; C11B 13/04; C14C 3/32; C21B 3/04; C25C 1/00; D01F 13/00; D01F 13/02; D01F 13/04
4.6.1-Recuperação de materiais a partir de resíduos plásticos (<i>Recovery of plastics materials from waste</i>)	B29B 17/00
4.6.2-Desmontagem de veículos para a recuperação de peças aproveitáveis (<i>Disassembly of vehicles for recovery of salvageable parts</i>)	B62D 67/00
4.6.3-De polímeros (<i>Of polymers</i>)	C08J 11/04; C08J 11/06; C08J 11/08; C08J 11/10; C08J 11/12; C08J 11/14; C08J 11/16; C08J 11/18; C08J 11/20; C08J 11/22; C08J 11/24; C08J 11/26; C08J 11/28
4.6.4 - Produção de hidrocarbonetos líquidos a partir de resíduos de borracha (<i>Production of liquid hydrocarbons from rubber waste</i>)	C10G 1/10
4.6.5 - Combustíveis sólidos derivados de resíduos (<i>Solid fuels derived from waste</i>)	C10L 5/46, C10L 5/48
4.6.6 - Obtenção de metais a partir de sucata (<i>Obtaining metals from scrap</i>)	C22B 7/00; C22B 7/02; C22B 7/04; C22B 19/30; C22B 25/06
4.6.7 - Desintegração de materiais fibrosos para reutilização (<i>Disintegrating fibrous materials for reuse</i>)	D01G 11/00
4.6.8-Desencadeamento de resíduos de papel para a obtenção de celulose (<i>Working-up waste paper to obtain cellulose</i>)	D21C 5/02
4.6.9-Recuperação de componentes reaproveitáveis ou materiais a partir de tubos de descarga ou lâmpadas (<i>Reclaiming salvageable components or material from electric discharge tubes or lamps</i>)	H01J 9/50; H01J 9/52
4.6.10-Recuperação de peças reparáveis a partir de resíduos de baterias, pilhas ou carregadores (<i>Reclaiming serviceable parts of waste cells, batteries or accumulators</i>)	H01M 6/52, 10/54

(Continuação)

5-Controle de poluição (<i>Pollution control</i>)	Classificação CIP
5.1-Captação e armazenamento de carbono (<i>Carbon capture and storage</i>)	B01D 53/14; B01D 53/22; B01D 53/62 B65G 5/00; C01B 31/20; E21B 41/00; E21B 43/16; E21F 17/16; F25J 3/02
5.2-Gestão da qualidade do ar (<i>Air quality management</i>)	Classificação CIP
5.2.1-Tratamento de resíduos de gases (<i>Treatment of waste gases</i>)	B01D 53/00; B01D 53/01; B01D 53/02; B01D 53/03; B01D 53/04; B01D 53/05; B01D 53/06; B01D 53/07; B01D 53/08; B01D 53/09; B01D 53/10; B01D 53/11; B01D 53/12; B01D 53/11; B01D 53/12; B01D 53/13; B01D 53/14; B01D 53/15; B01D 53/16; B01D 53/17; B01D 53/18; B01D 53/19; B01D 53/20; B01D 53/21; B01D 53/22; B01D 53/23; B01D 53/24; B01D 53/25; B01D 53/26; B01D 53/27; B01D 53/28; B01D 53/29; B01D 53/30; B01D 53/31; B01D 53/32; B01D 53/33; B01D 53/34; B01D 53/35; B01D 53/36; B01D 53/37; B01D 53/38; B01D 53/39; B01D 53/40; B01D 53/41; B01D 53/42; B01D 53/43; B01D 53/44; B01D 53/45; B01D 53/46; B01D 53/47; B01D 53/48; B01D 53/49; B01D 53/50; B01D 53/51; B01D 53/52; B01D 53/53; B01D 53/54; B01D 53/55; B01D 53/56; B01D 53/57; B01D 53/58; B01D 53/59; B01D 53/60; B01D 53/61; B01D 53/62; B01D 53/63; B01D 53/64; B01D 53/65; B01D 53/66; B01D 53/67; B01D 53/68; B01D 53/69; B01D 53/70; B01D 53/71; B01D 53/72; B01D 53/73; B01D 53/74; B01D 53/75; B01D 53/76; B01D 53/77; B01D 53/78; B01D 53/79; B01D 53/80; B01D 53/81; B01D 53/82; B01D 53/83; B01D 53/84; B01D 53/85; B01D 53/86; B01D 53/87; B01D 53/88; B01D 53/89; B01D 53/90; B01D 53/91; B01D 53/92; B01D 53/93; B01D 53/94; B01D 53/95; B01D 53/96
5.2.1.1-Aparelho de escape para motores de combustão com meios para o tratamento de gases de escape (<i>Exhaust apparatus for combustion engines with means for treating exhaust</i>)	F01N 3/00; F01N 3/01; F01N 3/02; F01N 3/021; F01N 3/022; F01N 3/023; F01N 3/025; F01N 3/027; F01N 3/028; F01N 3/029; F01N 3/031; F01N 3/032; F01N 3/033; F01N 3/035; F01N 3/037; F01N 3/038; F01N 3/04; F01N 3/05; F01N 3/06; F01N 3/08; F01N 3/10; F01N 3/18; F01N 3/20; F01N 3/22; F01N 3/24; F01N 3/26; F01N 3/28; F01N 3/30; F01N 3/32; F01N 3/34; F01N 3/36; F01N 3/38
5.2.1.2-Tornar os gases de escape inócua (<i>Rendering exhaust gases innocuous</i>)	B01D 53/92 ; F02B 75/10
5.2.1.3-Eliminação de gases residuais e de partículas na produção de aço (<i>Removal of waste gases or dust in steel production</i>)	C21C 5/38
5.2.1.4-Aparelhos de combustão que utilizam a recirculação de gases de combustão (<i>Combustion apparatus using a recirculation of flue gases</i>)	C10B 21/18; F23B 80/02; F23C 9/00
5.2.1.5-Combustão de gases residuais e nocivos (<i>Combustion of waste gases or noxious gases</i>)	F23G 7/06
5.2.1.6-Sistema de controle elétrico para tratamento de gases de exaustão (<i>Electrical control of exhaust gas treating apparatus</i>)	F01N 9/00
5.3.1-Separação de partículas dispersas de gases e vapores (<i>Separating dispersed particles from gases or vapours</i>)	B01D 45/00; B01D 45/02; B01D 45/04; B01D 45/06; B01D 45/08; B01D 45/10; B01D 45/12; B01D 45/14; B01D 45/16; B01D 45/18; B01D 46/00; B01D 46/02; B01D 46/04; B01D 46/06; B01D 46/08; B01D 46/10; B01D 46/12; B01D 46/14; B01D 46/16; B01D 46/18; B01D 46/20; B01D 46/22; B01D 46/24; B01D 46/26; B01D 46/28; B01D 46/30; B01D 46/32; B01D 46/34; B01D 46/36; B01D 46/38; B01D 46/40; B01D 46/42; B01D 46/44; B01D 46/46; B01D 46/48; B01D 46/50; B01D 46/52; B01D 46/54; B01D 47/00; B01D 47/02; B01D 47/04; B01D 47/05; B01D 47/06; B01D 47/08; B01D 47/10; B01D 47/12; B01D 47/14; B01D 47/16; B01D 47/18; B01D 49/00; B01D 49/02; B01D 50/00; B03C 3/00
5.3.1.1-Remoção de partículas em fornos (<i>Dust removal from furnaces</i>)	C21B 7/22; C21C 5/38; F27B 1/18; F27B 15/12
5.4.1-Use de aditivos para combustíveis ou incêndios para reduzir fumaça ou facilitar a remoção de fuligem (<i>Use of additives in fuels or fires to reduce smoke or facilitate soot removal</i>)	C10L 10/02; C10L 10/06; F23J 7/00
5.4.2-Modos de dispositivos para tratamento do cheiro ou queima nos aparelhos de combustão (<i>Arrangements of devices for treating smoke or fumes from combustion apparatus</i>)	F23J 15/00
5.4.3-Materiais que assentem ou absorvam a poeira (<i>Dust-laying or dust-absorbing materials</i>)	C09K 3/22
5.4.4-Alarmes de poluição (<i>Pollution alarms</i>)	G08B 21/12
5.5-Controle de poluição da água (<i>Control of water pollution</i>)	Classificação CIP
5.5.1-Tratamento de águas residuais ou de esgoto (<i>Treating wastewater or sewage</i>)	B63J 4/00; C02F
5.5.1.1-Para produção de fertilizantes (<i>To produce fertilisers</i>)	C05F 7/00
5.5.2-Materiais para tratamento de poluentes líquidos (<i>Materials for treating liquid pollutants</i>)	C09K 3/32
5.5.3-Remoção de poluentes em águas abertas (<i>Removing pollutants from open water</i>)	B63B 35/32; E02B 15/04
5.5.4-Instalação de canos para águas residuais (<i>Plumbing installations for waste water</i>)	E03C 1/12
5.5.5-Gestão de esgoto (<i>Management of sewage</i>)	C02F 1/00; C02F 3/00; C02F 9/00; E03F
5.6-Meios de prevenção de contaminação radioativa em caso de vazamento de reator (<i>Means for preventing radioactive contamination in the event of reactor leakage</i>)	G21C 13/10

(continuação)

E- Agricultura e Silvicultura (AGRICULTURE / FORESTRY)	Classificação CIP
1-Técnicas florestais (<i>Forestry techniques</i>)	A01G 23/00
2-Técnicas alternativas de irrigação (<i>Alternative irrigation techniques</i>)	A01G 25/00
3-Alternativas de pesticida (<i>Pesticide alternatives</i>)	A01N 25/00; A01N 25/02; A01N 25/04; A01N 25/06; A01N 25/08; A01N 25/10; A01N 25/12; A01N 25/14; A01N 25/16; A01N 25/18; A01N 25/20; A01N 25/22; A01N 25/24; A01N 25/26; A01N 25/28; A01N 25/30; A01N 25/32; A01N 25/34; A01N 27/00; A01N 29/00; A01N 29/02; A01N 29/04; A01N 29/06; A01N 29/08; A01N 29/10; A01N 29/12; A01N 31/00; A01N 31/02; A01N 31/04; A01N 31/06; A01N 31/08; A01N 31/10; A01N 31/12; A01N 31/14; A01N 31/16; A01N 33/00; A01N 33/02; A01N 33/04; A01N 33/06; A01N 33/08; A01N 33/10; A01N 33/12; A01N 33/14; A01N 33/16; A01N 33/18; A01N 33/20; A01N 33/22; A01N 33/24; A01N 33/26; A01N 35/00; A01N 35/02; A01N 35/04; A01N 35/06; A01N 35/08; A01N 35/10; A01N 37/00; A01N 37/02; A01N 37/04; A01N 37/06; A01N 37/08; A01N 37/10; A01N 37/12; A01N 37/14; A01N 37/16; A01N 37/18; A01N 37/20; A01N 37/22; A01N 37/24; A01N 37/26; A01N 37/28; A01N 37/30; A01N 37/32; A01N 37/34; A01N 37/36; A01N 37/38; A01N 37/40; A01N 37/42; A01N 37/44; A01N 37/46; A01N 37/48; A01N 37/50; A01N 37/52; A01N 39/00; A01N 39/02; A01N 39/04; A01N 41/00; A01N 41/02; A01N 41/04; A01N 41/06; A01N 41/08; A01N 41/10; A01N 41/12; A01N 43/00; A01N 43/02; A01N 43/04; A01N 43/06; A01N 43/08; A01N 43/10; A01N 43/12; A01N 43/14; A01N 43/16; A01N 43/18; A01N 43/20; A01N 43/22; A01N 43/24; A01N 43/26; A01N 43/28; A01N 43/30; A01N 43/32; A01N 43/34; A01N 43/36; A01N 43/38; A01N 43/40; A01N 43/42; A01N 43/44; A01N 43/46; A01N 43/48; A01N 43/50; A01N 43/52; A01N 43/54; A01N 43/56; A01N 43/58; A01N 43/60; A01N 43/62; A01N 43/64; A01N 43/647; A01N 43/653; A01N 43/66; A01N 43/68; A01N 43/70; A01N 43/707; A01N 43/713; A01N 43/72; A01N 43/74; A01N 43/76; A01N 43/78; A01N 43/80; A01N 43/82; A01N 43/824; A01N 43/828; A01N 43/832; A01N 43/836; A01N 43/84; A01N 43/86; A01N 43/88; A01N 43/90; A01N 43/92; A01N 45/00; A01N 45/02; A01N 47/00; A01N 47/02; A01N 47/04; A01N 47/06; A01N 47/08; A01N 47/10; A01N 47/12; A01N 47/14; A01N 47/16; A01N 47/18; A01N 47/20; A01N 47/22; A01N 47/24; A01N 47/26; A01N 47/28; A01N 47/30; A01N 47/32; A01N 47/34; A01N 47/36; A01N 47/38; A01N 47/40; A01N 47/42; A01N 47/44; A01N 47/46; A01N 47/48; A01N 49/00; A01N 51/00; A01N 53/00; A01N 53/02; A01N 53/04; A01N 53/06; A01N 53/08; A01N 53/10; A01N 53/12; A01N 53/14; A01N 55/00; A01N 55/02; A01N 55/04; A01N 55/06; A01N 55/08; A01N 55/10; A01N 57/00; A01N 57/02; A01N 57/04; A01N 57/06; A01N 57/08; A01N 57/10; A01N 57/12; A01N 57/14; A01N 57/16; A01N 57/18; A01N 57/20; A01N 57/22; A01N 57/24; A01N 57/26; A01N 57/28; A01N 57/30; A01N 57/32; A01N 57/34; A01N 57/36; A01N 59/00; A01N 59/02; A01N 59/04; A01N 59/06; A01N 59/08; A01N 59/10; A01N 59/12; A01N 59/14; A01N 59/16; A01N 59/18; A01N 59/20; A01N 59/22; A01N 59/24; A01N 59/26; A01N 61/00; A01N 61/02; A01N 63/00; A01N 63/02; A01N 63/04; A01N 65/00; A01N 65/03; A01N 65/04; A01N 65/06; A01N 65/08; A01N 65/10; A01N 65/12; A01N 65/14; A01N 65/16; A01N 65/18; A01N 65/20; A01N 65/22; A01N 65/24; A01N 65/26; A01N 65/28; A01N 65/30; A01N 65/32; A01N 65/34; A01N 65/36; A01N 65/38; A01N 65/40; A01N 65/42; A01N 65/44; A01N 65/46; A01N 65/48
4-Melhoria do solo (<i>Soil improvement</i>)	C09K 17/00; E02D 3/00
4.1-Adubos orgânicos derivados de resíduos (<i>Organic fertilisers derived from waste</i>)	C05F
F-Aspectos administrativos, regulamentares ou de design (ADMINISTRATIVE, REGULATORY OR DESIGN ASPECTS)	Classificação CIP
1-Comutação (<i>Commuting, e.g., HOV, teleworking, etc.</i>)	G06Q G08G
2-Comércio de emissões de carbono, por exemplo, créditos de poluição (<i>Carbon/emissions trading, e.g. pollution credits</i>)	G06Q
3-Concepção estrutural estática (<i>Static structure design</i>)	E04H 1/00
G-Geração de Energia Nuclear (NUCLEAR POWER GENERATION)	Classificação CIP
1-Engenharia Nuclear (<i>Nuclear engineering</i>)	G21
2-Reatores de fusão (<i>Fusion reactors</i>)	G21B
2.1-Reatores de fissão nuclear (<i>Nuclear (fission) reactors</i>)	G21C
2.2-Usina Nuclear (<i>Nuclear power plant</i>)	G21D
3-Usinas de turbina a gás que utilizem fonte de calor de origem nuclear (<i>Gas turbine power plants using heat source of nuclear origin</i>)	F02C 1/05

Fonte: Elaboração Própria com base no IPC Green Inventory (2014).

ANEXO B – Matriz de Coincidência (1990, 2000 e 2010)

1990							2000							2010						
Matriz de Coincidência							Matriz de Coincidência							Matriz de Coincidência						
Variáveis	A	E	C	G	S	P	Variáveis	A	E	C	G	S	P	Variáveis	A	E	C	G	S	P
A	1						A	1						A	1					
E	0.734	1					E	0.734	1					E	0.726	1				
C	0.833	0.729	1				C	0.847	0.743	1				C	0.866	0.727	1			
G	0.735	0.507	0.726	1			G	0.624	0.469	0.620	1			G	0.815	0.594	0.743	1		
S	0.915	0.962	0.905	0.949	1		S	0.929	0.960	0.914	0.987	1		S	0.951	0.980	0.937	0.987	1	
P	0.664	0.588	0.718	0.644	0.884	1	P	0.634	0.646	0.708	0.762	0.899	1	P	0.669	0.653	0.708	0.768	0.996	1

Fonte: Elaboração própria com base no *software* Stata 11.0

ANEXO C – Matrizes de Suficiência e Necessidade (1990, 2000 e 2010)

1990							2000							2010						
Matriz de Suficiência e Necessidade							Matriz de Suficiência e Necessidade							Matriz de Suficiência e Necessidade						
Variáveis	A	E	C	G	S	P	Variáveis	A	E	C	G	S	P	Variáveis	A	E	C	G	S	P
A	1	0.684	0.822	0.464	0.915	0.601	A	1	0.705	0.847	0.221	0.929	0.634	A	1	0.697	0.866	0.233	0.951	0.561
E	0.734	1	0.729	0.343	0.962	0.571	E	0.734	1	0.743	0.173	0.960	0.646	E	0.726	1	0.727	0.177	0.980	0.571
C	0.833	0.688	1	0.464	0.905	0.658	C	0.847	0.713	1	0.220	0.914	0.708	C	0.866	0.698	1	0.212	0.937	0.594
G	0.735	0.507	0.726	1	0.949	0.644	G	0.624	0.469	0.620	1	0.9897	0.762	G	0.815	0.594	0.743	1	0.986	0.768
S	0.507	0.496	0.495	0.332	1	0.443	S	0.515	0.511	0.507	0.197	1	0.534	S	0.518	0.513	0.511	0.156	1	0.457
P	0.664	0.588	0.718	0.449	0.884	1	P	0.592	0.579	0.661	0.252	0.899	1	P	0.669	0.653	0.708	0.262	0.987	1

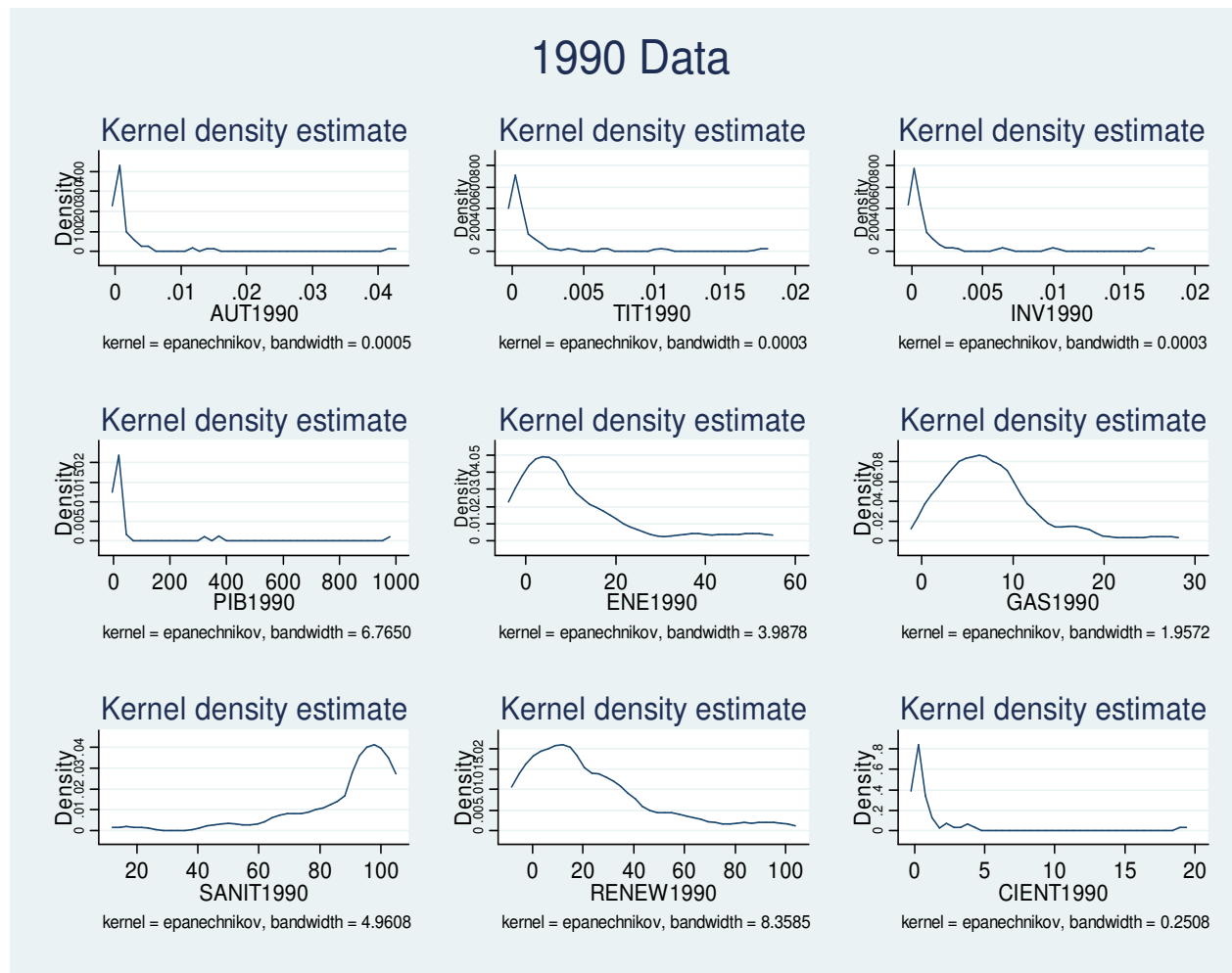
Fonte: Elaboração própria com base no *software* Stata 11.0

ANEXO D- Resultados das soluções complexas e parcimoniosas (1990, 2000 e 2010)

1990				2000				2010			
Configuração das condições causais: Solução Complexa*											
Combinação de Conjuntos	Raw Coverage	Unique Coverage	Consistência	Combinação de Conjuntos	Raw Coverage	Unique Coverage	Consistência	Combinação de Conjuntos	Raw Coverage	Unique Coverage	Consistência
E*C*~g*S	0.4320	0.1413	0.8658	E*C*~g*S	0.5338	0.1915	0.8928	C*~g*S	0.6877	0.6387	0.8605
~e*C*G*S	0.2688	0.0559	0.9366	C*~g*S*P	0.4186	0.0764	0.8341	E*G*S*P	0.1264	0.0773	0.9992
E*~g*S*P	0.2705	0.0156	0.7945	E*C*S*P	0.4160	0.0737	0.8796				
E*C*S*P	0.3796	0.0060	0.8898								
C*G*S*P	0.2953	0.0204	0.8903								
Solução de cobertura		0.7152		Solução de cobertura		0.6839		Solução de cobertura		0.7651	
Solução de consistência		0.8326		Solução de consistência		0.8682		Solução de consistência		0.8727	
Configuração das condições causais: Solução Parcimoniosas*											
Combinação de Conjuntos	Raw Coverage	Unique Coverage	Consistência	Combinação de Conjuntos	Raw Coverage	Unique Coverage	Consistência	Combinação de Conjuntos	Raw Coverage	Unique Coverage	Consistência
C*S	0.7508	0.2568	0.8410	C*S	0.7923	0.7923	0.8669	C	0.8660	0.3548	0.8660
S*P	0.5445	0.0505	0.6807					G	0.2331	0.2331	0.8150
								E*P	0.4338	0.0087	0.7918
Solução de cobertura		0.8013		Solução de cobertura		0.7923		Solução de cobertura		0.8954	
Solução de consistência		0.7181		Solução de consistência		0.8668		Solução de consistência		0.7777	

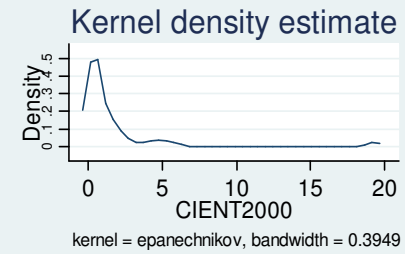
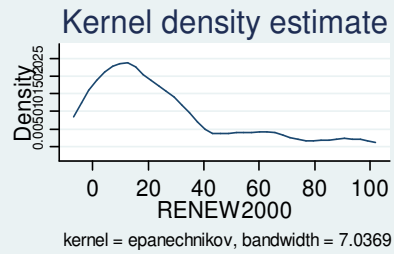
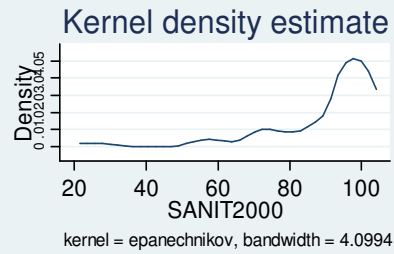
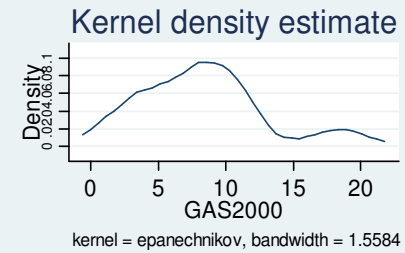
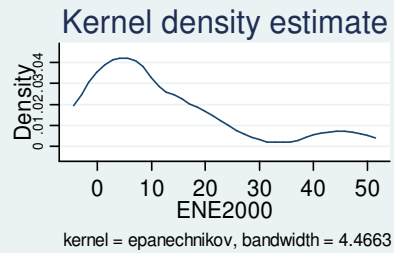
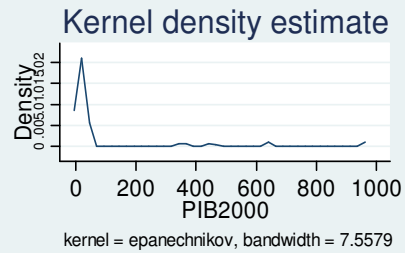
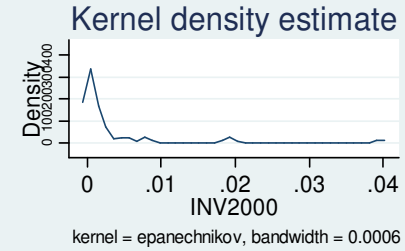
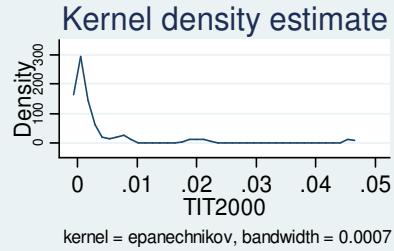
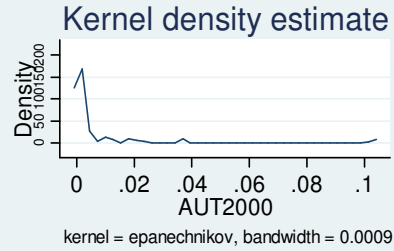
Fonte: Elaboração própria com base no *software* Stata 11.0

ANEXO E - Gráficos de distribuição não-normais das variáveis (1990, 2000 e 2010)

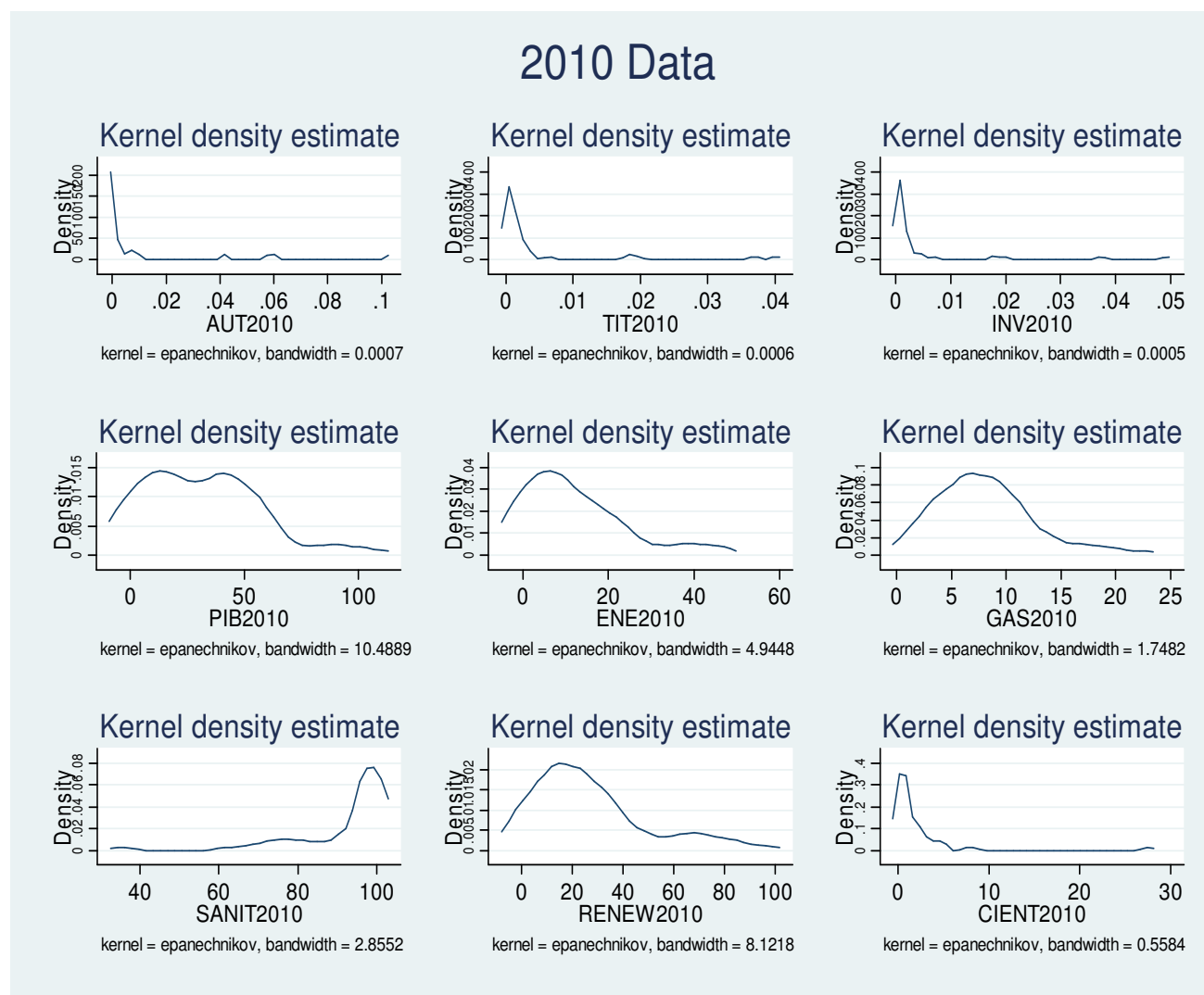


(continuação)

2000 Data

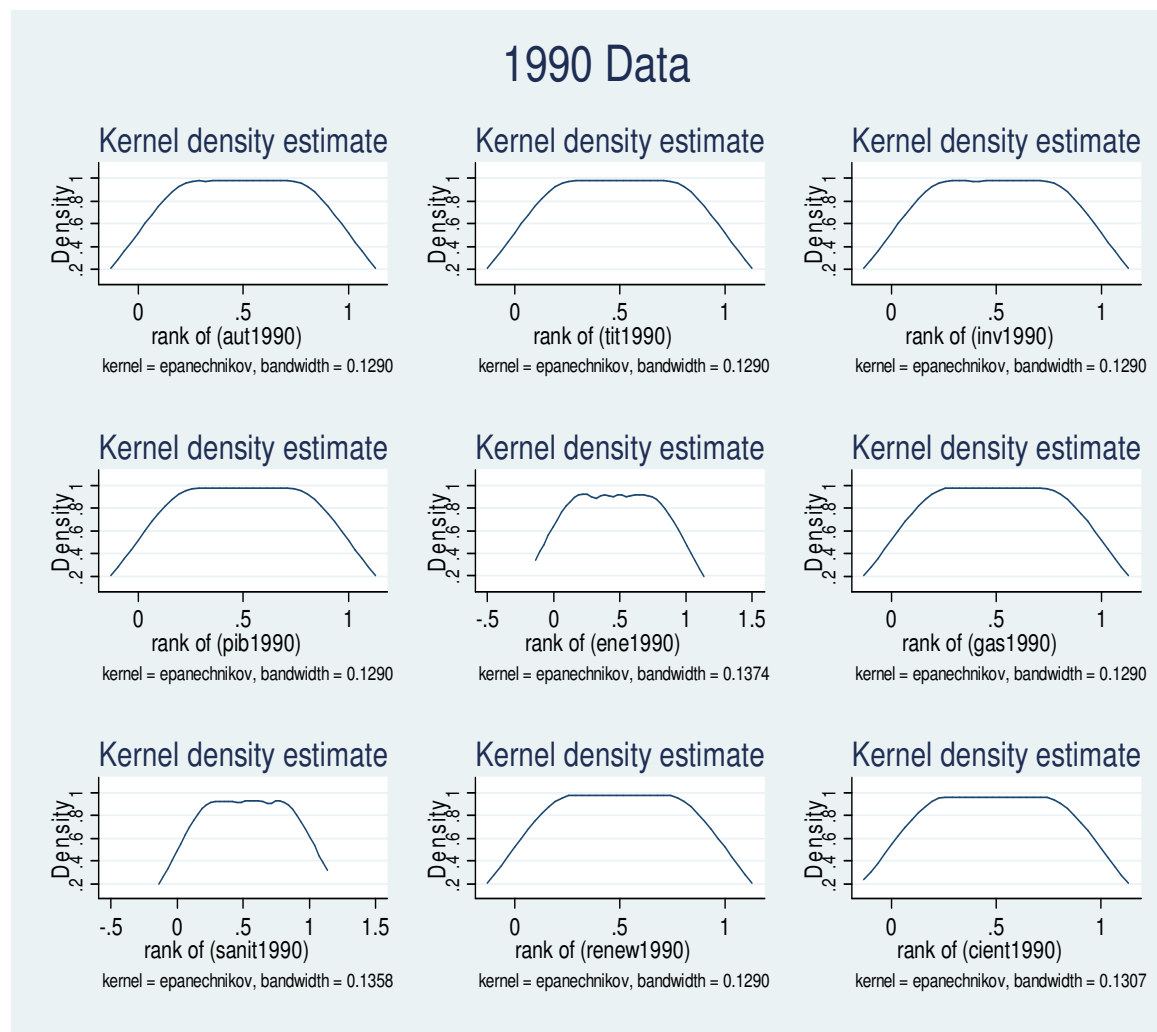


(continuação)



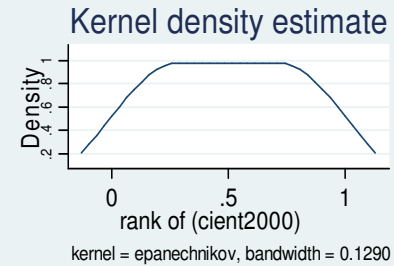
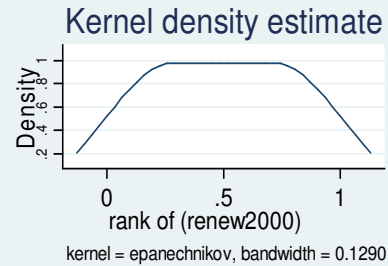
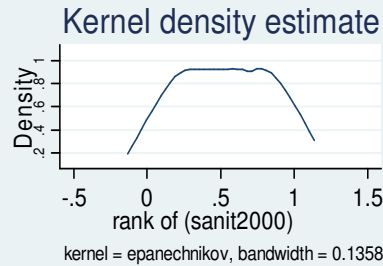
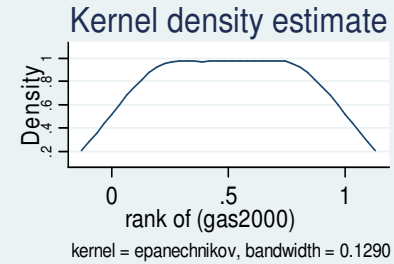
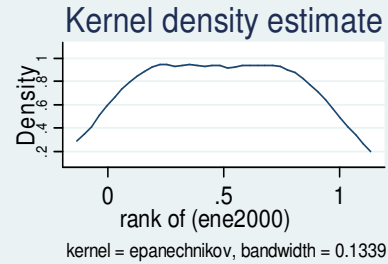
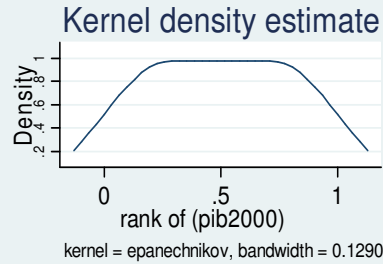
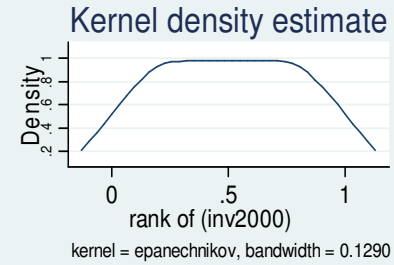
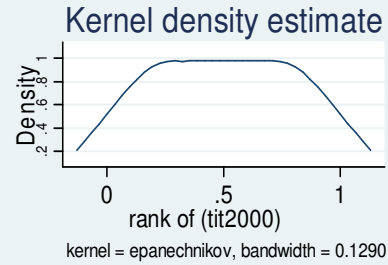
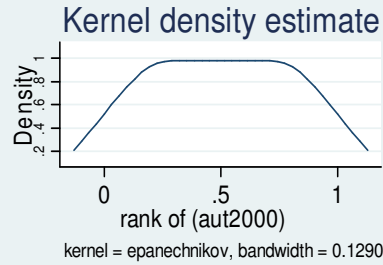
Fonte: Elaboração própria com base no Stata 11.0.

ANEXO F – Gráficos das distribuições normais para as variáveis *fuzzy* (1990, 2000 e 2010)

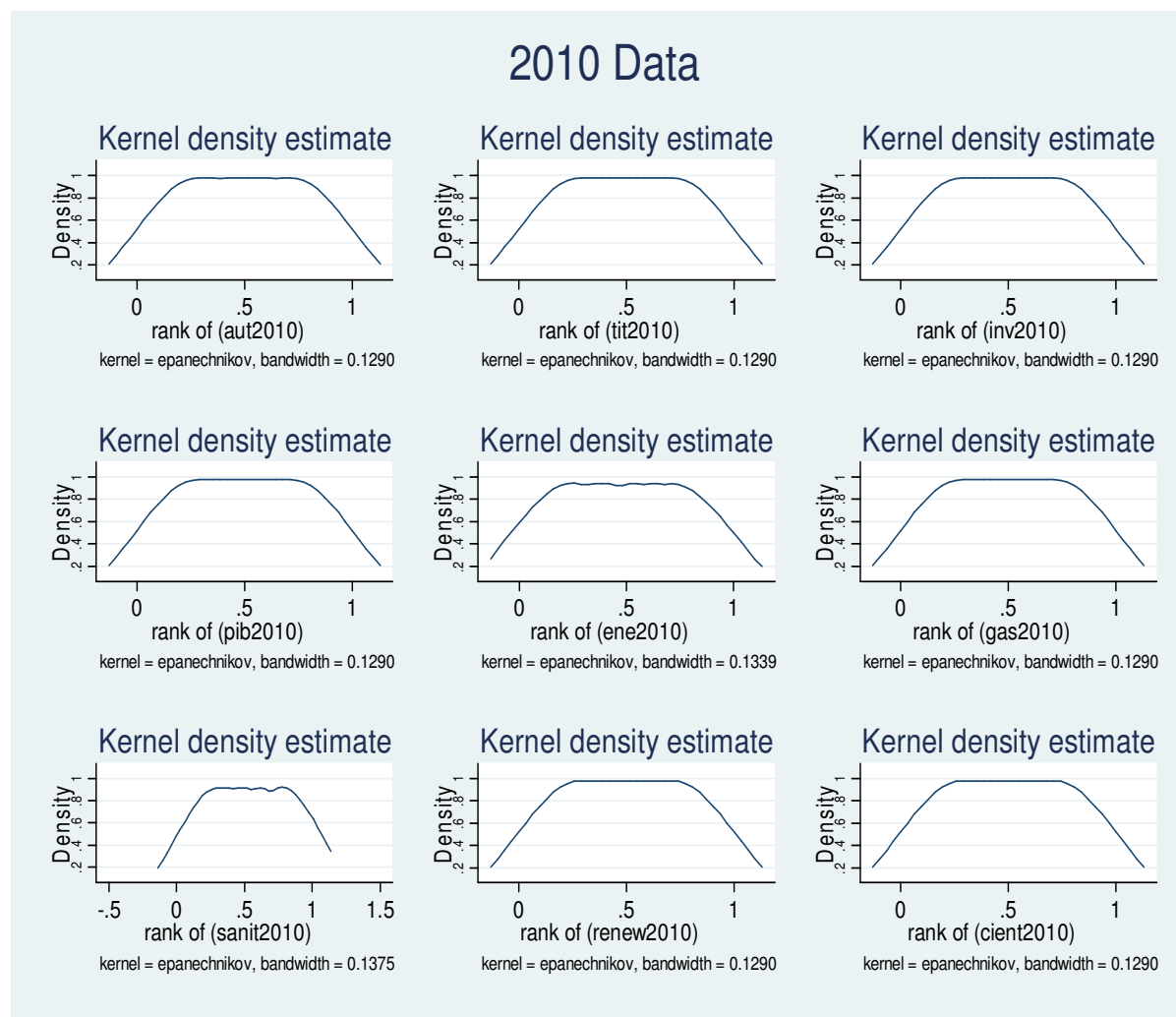


(continuação)

2000 Data



(continuação)



Fonte: Elaboração própria com base no Stata 11.0.

ANEXO G – Matrizes de Correlação para as variáveis *fuzzy* (1990, 2000 e 2010)

1990

Variáveis	A	T	I	P	E	G	S	R	C
A	1								
T	0.7330	1							
I	0.7199	0.9896	1						
P	0.3582	0.4844	0.4397	1					
E	0.3482	0.4460	0.4444	0.1577	1				
G	0.3204	0.3284	0.3242	0.1784	0.0053	1			
S	0.4906	0.5080	0.4980	0.3142	0.3963	0.5101	1		
R	0.2663	0.0341	0.0192	0.1629	0.4737	-0.2689	-0.0345	1	
C	0.7389	0.7969	0.7990	0.4710	0.4088	0.3112	0.5179	0.0958	1

2000

Variáveis	A	T	I	P	E	G	S	R	C
A	1								
T	0.7271	1							
I	0.7152	0.9860	1						
P	0.0561	0.3932	0.4077	1					
E	0.3027	0.4268	0.4334	0.0884	1				
G	0.3166	0.4474	0.4483	0.1803	0.0061	1			
S	0.4896	0.6165	0.5978	0.2811	0.3121	0.5582	1		
R	0.1713	0.0242	-0.0080	0.0448	0.4536	-0.3331	-0.0434	1	
C	0.7454	0.8386	0.8568	0.2705	0.3943	0.2671	0.4566	0.1400	1

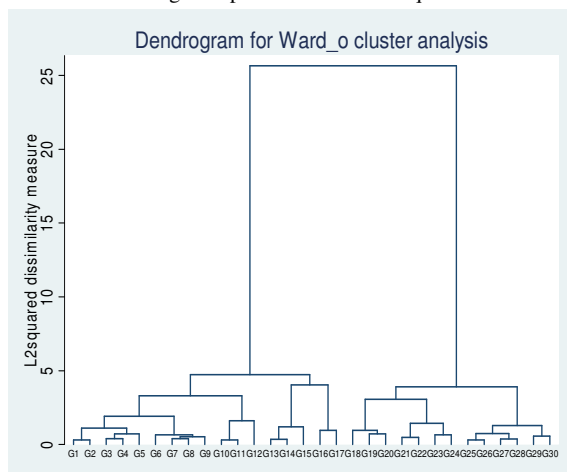
2010

Variáveis	A	T	I	P	E	G	S	R	C
A	1								
T	0.8343	1							
I	0.8202	0.9692	1						
P	0.2234	0.5023	0.3919	1					
E	0.2823	0.3493	0.3024	0.2080	1				
G	0.3131	0.4507	0.4235	0.5439	0.0970	1			
S	0.3155	0.5257	0.5021	0.6593	0.2725	0.3684	1		
R	0.1977	0.1677	0.0929	0.2460	0.5382	-0.1614	-0.0208	1	
C	0.7871	0.9030	0.9225	0.2861	0.3134	0.2604	0.4261	0.1957	1

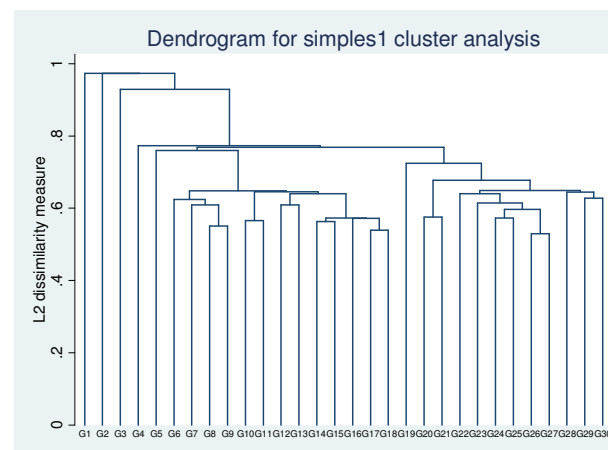
Fonte: Elaboração Própria com base no Stata 11.0

ANEXO H – Análise dos dendogramas para os métodos hierárquicos de *Ward (1990)*

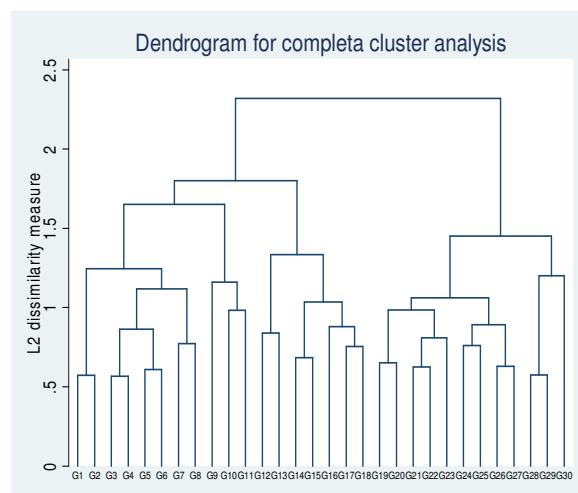
Dendograma para o método hierárquico *Ward*



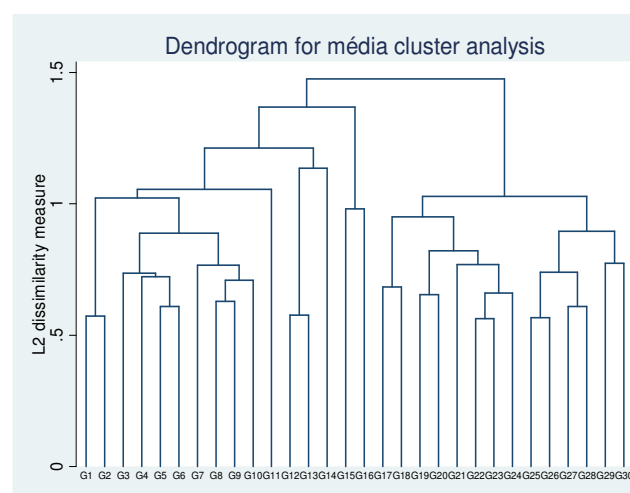
Dendograma para o método hierárquico *single linkage*



Dendograma para o método hierárquico *complete linkage*



Dendograma para o método hierárquico *average linkage*



Fonte: Elaboração Própria com base no Stata 11.0.

ANEXO I – Resultados dos agrupamentos pelos métodos hierárquicos (1990)

Número de grupos	Métodos Hierárquicos											
	Método de Ward			Método Single Linkage			Complete Linkage			Average Linkage		
	Pseudo F	Je(2)/Je(1)	Pseudo T	Pseudo F	Je(2)/Je(1)	Pseudo T ²	Pseudo F	Je(2)/Je(1)	Pseudo T ²	Pseudo F	Je(2)/Je(1)	Pseudo T ²
1	n.d.	0.6049	24.82	n.d.	0.9679	1.26	n.d.	0.6422	21.17	n.d.	0.6049	24.82
2	24.82	0.7963	4.86	1.26	0.9609	1.50	21.17	0.7799	6.21	24.82	0.8093	4.48
3	16.27	0.4244	8.14	1.39	0.9386	2.35	15.44	0.6168	5.59	15.97	0.7652	5.22
4	13.55	0.7562	5.48	1.75	0.9807	0.69	13.80	0.7115	5.68	13.41	0.1704	4.87
5	12.62	0.7113	4.47	1.47	0.5489	27.95	12.74	0.6314	6.42	10.81	0.8702	2.09
6	12.17	0.6514	5.89	7.67	0.8972	1.83	12.24	0.6177	3.71	9.24	0.7562	5.48
7	12.17	0.6910	3.58	6.82	0.8816	2.15	11.57	0.1704	4.87	9.62	0.7527	4.27
8	11.65	0.1704	4.87	6.37	0.7605	4.72	10.80	0.3993	1.50	9.50	0.0000	n.d.
9	11.21	0.5650	3.85	6.69	0.8459	2.37	10.21	0.6122	2.53	8.62	0.6314	6.42
10	10.87	0.6122	2.53	6.39	0.8902	1.85	9.74	0.6930	4.87	9.48	0.6122	2.53
11	10.61	0.4033	5.92	6.16	0.7953	2.83	10.26	0.6489	3.25	9.17	0.6930	4.87
12	10.44	0.5802	2.89	6.29	0.3688	1.71	10.27	0.5874	4.92	9.84	0.6489	3.25
13	10.34	0.0000	n.d.	5.86	0.7912	2.37	10.50	0.0000	n.d.	9.99	0.0000	n.d.
14	10.21	0.6045	2.62	5.92	0.8664	1.54	10.38	0.6082	1.29	9.46	0.6006	1.99
15	10.18	0.4765	2.20	5.75	0.0000	n.d.	9.96	0.6006	1.99	9.15	0.5874	1.40

Fonte: Elaboração Própria com base no Stata 11.0.

**ANEXO J – Relação com os 30 subdomínios tecnológicos e as 27 disciplinas de
Ciência e Engenharia (C&E)**

Cód. OST	Classificação OST	Cód. ISI	Disciplinas ISI
1	Componentes Eletrônicos	1	Matemáticas
2	Audiovisual	2	Ciência de Materiais
3	Telecomunicações	3	Engenharia Eletrônica
4	Tecnologia da Informação	4	Ciência Nuclear
5	Semicondutores	5	Engenharia Mecânica, Civil e Outras
6	Ótica	6	Química Inorgânica e Engenharia
7	Análise de Mensuração e Controle	7	Química Analítica
8	Engenharia Médica	8	Química Física
9	Químicas Orgânicas Finas	9	Química Orgânica
10	Química Macromolecular	10	Física Aplicada
11	Farmacêuticos e Cosméticos	11	Física do Estado Sólido
12	Biotecnologia	12	Geociências
13	Produtos Agrícolas e Alimentícios	13	Outras Físicas
14	Procedimentos Técnicos	14	Ecologia
15	Tecnologia de Superfícies e Revestimento	15	Ciência dos Alimentos e Agricultura
16	Processamento de Materiais	16	Biotecnologia
17	Metalurgia e Materiais	17	Microbiologia
18	Técnicas Termais	18	Biologia Geral
19	Processamento Químico Básico	19	Farmacologia e Farmácia
20	Poluição e Meio Ambiente	20	Saúde Pública
21	Ferramentas de Maquinaria	21	Patologia
22	Motores, bombas e turbinas	22	Neurociência
23	Componentes Mecânicos	23	Medicina Reprodutiva e Geriatria
24	Manuseio e Impressão	24	Medicina Geral
25	Maquinaria Agrícola e Alimentícia	25	Medicina Interna
26	Transporte	26	Pesquisa Médica
27	Engenharia Nuclear	27	Imunologia
28	Tecnologia Espacial e Armas		
29	Bens de Consumo e Equipamentos		
30	Engenharia Civil e de Construção		

Fonte: OST (2006) e Braun *et al.* (1996).