

Resumo: O objetivo principal do trabalho é investigar a influência e captar as interações específicas relacionadas ao meio ambiente e à tecnologia dos países desenvolvidos e em desenvolvimento que compõem a amostra do presente artigo, nos anos de 1990, 2000 e 2010. A base de dados consiste na utilização de fatores relacionados à atividade inovativa ambiental, ao grau de desenvolvimento econômico, as condições de infraestrutura, capacidade de produção de energia alternativa, nível de emissão de gases CO₂ e a capacidade científica das nações. A metodologia aplicada aborda um método pouco explorado na literatura sobre inovação e meio ambiente, a técnica de Análise Qualitativa Comparativa (QCA). Ao aplicar a técnica, para cada ano, os resultados fornecem uma análise de eventuais mudanças nas configurações específicas de cada país nesse intervalo temporal. Os resultados revelaram que as configurações que fomentam e favorecem a inovação ambiental são representadas por boas condições de capacidade ambiental, científica e econômica.

Palavras Chave: Análise Qualitativa Comparativa (QCA); Indicadores Tecnológicos e Ambientais; Capacidade Ambiental dos Países

Abstract: The aim of the present work is to assess and capture the specific interactions related to the environment and technology of developed and developing countries, in 1990, 2000 and 2010. The database used factors related to environmental innovation activity, degree of economic development, conditions of infrastructure, alternative energy production capacity, gas emission level and scientific ability of the economies. The methodology covers a method unexplored in literature about innovation, qualitative and comparative analysis (QCA). Applying the technique for each year, the results provide a static analysis of possible changes in specific configurations of each country in this time interval. The results indicates that the settings that lead to environmental innovation activity are represented by good conditions for scientific, technological and economic capacity.

Keywords: Qualitative Comparative Analysis; Environmental and Technological Indicators; Environmental Capacity of Countries.

Classificação JEL: O3;O31; O33.

Área ABEIN: 4- Redes e sistemas urbanos, regionais e nacionais

Sub área: 4.5 – Inovação, desenvolvimento e sustentabilidade.

¹ Professora Adjunta do Departamento de Economia da Universidade Federal de São João del Rei.

1- Introdução

O urgente debate sobre as políticas climáticas globais e o reconhecimento das ameaças ambientais ganharam destaque nas discussões internacionais a partir da segunda metade do século XX. A preocupação governamental e das instituições aumentou a partir da observação científica sobre as modificações que os avanços tecnológicos acarretam sobre o meio ambiente. A busca por um padrão de desenvolvimento que seja reprodutível para as próximas gerações tornou-se tema de investigação de diversas economias. 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.

Deste modo, 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).

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. É oportuno ressaltar também a necessidade de se estabelecer estratégias em prol do meio ambiente, que vem motivando governos a desenvolver e implementar políticas de transição do paradigma industrial da economia tradicional para um modelo pautado pelos princípios do desenvolvimento sustentável².

A justificativa para o presente estudo referente à capacidade ambiental dos países e sua análise relacionada às inovações ambientais, seria a conciliação entre o fomento de tecnologias que pudessem garantir a mitigação de impactos ao meio ambiente, 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 não seria possível de se realizar a curto prazo (FREEMAN, 2002).

Nesse sentido, o trabalho tem por objetivo usar a técnica de análise qualitativa comparativa (QCA) que permite, de maneira exploratória, entender a natureza das relações simultâneas dos países desenvolvidos e em desenvolvimento e identificar sua dinâmica sistêmica com as inovações e capacidade ambiental das economias sob estudo³. Além disso, a análise pretende identificar e apresentar as configurações dos quarenta países (desenvolvidos e em desenvolvimento) que compõem a amostra, a partir de indicadores relacionados às condições tecnológica e ambiental, e às capacidades econômica e científica, nos anos de 1990, 2000 e 2010. 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 de acordo com as variáveis explicitadas no presente trabalho. Países similares devem compor naturalmente o mesmo grupo, enquanto os heterogêneos devem formar outros

² Segundo a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED, 1987), o *desenvolvimento sustentável* satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem suas necessidades. Paralelamente, o conceito de inovação sustentável refere-se à fusão entre os termos e pode ser entendida como aquela que cria valor agregado sem comprometer as necessidades das gerações futuras.

³ De modo amplo, a capacidade ambiental dos países refere-se à habilidade construída e desenvolvida por uma sociedade para observar, analisar e sanar seus problemas ambientais (WEIDNER, 2002).

grupos característicos. Assim, um número pequeno de grupos gerados pelos quarenta países desta pesquisa significaria relativamente um alto número de economias com comportamentos similares.

Além desta seção introdutória, esse trabalho se organiza em mais quatro seções. Na segunda seção são destacados o conceito e as características da inovação ambiental. Em seguida, no terceiro item, são apresentadas a metodologia e a descrição da base de dados. Na quarta seção será apurado os resultados do procedimento estatístico realizado. Por fim, no item 5, são tecidas as conclusões do trabalho, ressaltando as contribuições, os principais resultados das diferentes configurações entre as nações desenvolvidas e em desenvolvimento, e os possíveis avanços e extensões da pesquisa.

2- O conceito de 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 no meio ambiente. 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 sustentável⁴, 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.

Assim, 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. Desse modo, a definição de inovação ambiental que mais se assemelha a sua finalidade e que será utilizada neste trabalho 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).

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

Da mesma forma, se por um lado o crescimento econômico pode aumentar o bem-estar, por outro envolve diversos custos envolvidos nesse processo. 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). Para investigar e entender a natureza complexa das relações simultâneas dos países e sua dinâmica com as inovações e suas capacidades ambientais, a seguir, são apresentados a metodologia e a base de dados utilizada para a aplicação da técnica de análise comparativo-qualitativa (*fsQCA*).

3- Abordagem Metodológica

Em termos metodológicos, os determinantes da capacidade ambiental dos países 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*).

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. Isto é, países podem exibir a mesma configuração específica (interação dos determinantes) e, desse modo, ser agrupados em um conjunto distinto dos demais.

3.1- Análise Comparativa e Qualitativa *fuzzy set* (*fsQCA*)

A Análise Comparativa e Qualitativa (QCA) 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 atividade inovativa 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*). 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 Booleano. O *fuzzy set* permite a calibração 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 serão utilizadas as condições baseadas pelo *fuzzy set* (*fsQCA*). 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.

3.2- Base de dados e calibragem

No presente artigo, 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 os 40 casos (países)⁵ e se a atividade inovativa ambiental ocorre, além de caracterizar as economias 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, 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 1).

Nesse caso, para investigar se a atividade inovativa ambiental é mais propícia de acontecer em países desenvolvidos, o conjunto de condições foi definido de acordo com perspectivas sobre a realização da inovação ambiental. A base de dados utilizada foi construída a partir da conjugação de diferentes fontes, como os dados de patentes do escritório de patentes europeu (EPO); dados de artigos científicos, do Produto Interno Bruto (PIB), da produção de energia alternativa e nuclear, das condições sanitárias, 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. Os indicadores apresentados a seguir (QUADRO 1) foram selecionados a partir do conjunto de índices de crescimento verde (*Green Growth Indicators*), elaborado pela OECD (2014).

Para o resultado pretendido (*proxy* das inovações ambientais), foram utilizadas as patentes depositadas pela autoridade de cada país que compõem a amostra, divididas por 1 milhão de habitantes. Em outras palavras, as 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 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 (A)⁶. 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 ambiental nas economias sob estudo.

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

⁵ Os países desenvolvidos e em desenvolvimento analisados no artigo são: África do Sul, Alemanha, Argentina, Austrália, Áustria, Bélgica, Brasil, Bulgária, Canadá, China, Coreia do Sul, Cuba, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Índia, Irlanda, Israel, Itália, Japão, Luxemburgo, Malásia, México, Moldova, Noruega, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Tcheca, Romênia, Rússia, Singapura, Suécia, Suíça, Turquia e Ucrânia.

⁶ 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 estratégicas, disponibilizadas pelo Inventário de Classificação de Patentes Verdes (IPC *Green Inventory*). 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/>>.

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.

Em relação ao indicador G, o mesmo 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).

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. 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 seu turno, o indicador P representa o PIB *per capita* dos países (QUADRO 1). 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.

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 tem por finalidade avaliar a influência da atividade científica exclusivamente pelas suas capacidades de desenvolvimento tecnológico ambiental.

QUADRO 1 –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.

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. O método direto, utilizado no artigo⁷, engloba três âncoras qualitativas que têm por objetivo estruturar as condições e o resultado em conjunto *fuzzy*.

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 1). 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 *fsQCA* 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 cobertura 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 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 medidas (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

⁷ Para maiores informações e detalhes a respeito da calibração no método direto consultar Ragin (2008b).

(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^8 representa o número de atributos, condições causais (GANTER; HECKER, 2014).

Em resumo, a investigação sobre os diferentes modos de combinações de condições causais 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 as economias sob estudo.

3- Discussão de Resultados

A primeira etapa antes da aplicação da QCA diz respeito à calibração das variáveis para técnica *fuzzy*. Após esse procedimento, observaram-se quais as primeiras configurações encontradas a partir das condições distintas entre os países. 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 2 referem-se à interação entre os determinantes que provocaram o resultado em certo país. 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 suas atividades inovativas. A exceção dos resultados nos países em desenvolvimento, foi a África do Sul que apresentou como configuração para a atividade inovativa ambiental, 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 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 inovação ambiental e o desenvolvimento das estruturas que balizam os países quanto a sua capacidade ambiental continuaram ao longo da década de 90.

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

⁸ No caso do método *fsQCA* realizado neste artigo serão 5 condições estudadas ($k=5$) e 32 possíveis combinações de condições.

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).

Em relação à Tabela 1, 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 1 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)⁹. Para Ragin (2006), os escores de consistência indicam que quanto mais próximos de 1, maior será sua consistência. 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 1, 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 1, observa-se que ao longo das três décadas 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.

⁹ Foram excluídas da análise todas as combinações que não obtiveram nenhum caso (observação) e combinações cujo valor de consistência ficou abaixo de 0.70.

QUADRO 2 – 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, Coreia do Sul
EcGSP	(1) Bulgária	ECgSp	(2) Brasil, Coreia do Sul	EcGSP	(2) Finlândia, Noruega
EcGSP	(2) Áustria, Noruega	EcGSp	(1) República Tcheca	EcGSP	(1) Áustria
EcGSp	(4) Argentina, Coreia 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).

TABELA 1 – 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 3, 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 3 representam as equações reduzidas da configuração para um número mínimo de conjuntos.

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).

QUADRO 3 – 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 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 3), 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 1, na qual a quantidade de minimização das configurações diminuiu ao longo do tempo, no Quadro 3 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 nos aspectos tecnológicos e ambientais entre os países.

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 uma estrutura sistêmica de inovação fortalecida, 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 neste artigo, 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 1 e Quadros 2 e 3) 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 soluções finais (Kent, 2008).

Na Tabela 2, são apresentadas as “Tabelas Verdades” dos conjuntos *fuzzy* com todas as combinações das condições causais, para o recorte temporal deste trabalho. 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). Neste trabalho, foi escolhido o ponto de corte mínimo com dois (2) países em cada combinação causal e, desta forma, foram eliminadas as linhas da Tabela 2 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.

Na Tabela 2, 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.

Assim, as soluções finais expostas no Quadro 4 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.

TABELA 2 – 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.

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 4. As diferenças entre os resultados apresentados no Quadro 3 e os resultados do Quadro 4 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 4 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.

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).

QUADRO 4 – 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.

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 5).

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

($S^* \sim g^* C^* E$). 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 5). 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 ($S^* \sim g^* C$), 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 5, 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.

A representação dos países exposta no Quadro 5 reflete diversas possibilidades de configurações a partir de diferentes estágios 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 ($S^* \sim g^* C$) 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 5).

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.

QUADRO 5 – 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.

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 negativos (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 ambiental, científica, tecnológica e econômica.

Embora avanços técnicos e científicos ocorram em alguns países com pouca capacidade de inovação, 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.

5- Conclusões

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

O presente trabalho buscou incorporar elementos que caracterizam a relação entre a capacidade ambiental e a dimensão sistêmica com as inovações ambientais dos países, entre as nações desenvolvidas 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 de sistemas de inovação, além dos processos de *catching up* proporcionados pelas várias etapas de transformações dinâmicas tornaram este artigo um grande desafio.

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 inovativas, ainda não está alinhado aos objetivos centrais de questões ambientais inerentes a cada economia.

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 Coreia 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 na análise qualitativa comparativa, 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.

Do ponto de vista das sugestões de políticas, a partir dos diversos quadros e estágios de inovações, é provável supor que tanto políticas tecnológicas quanto as políticas ambientais devam conjugar ações pertinentes dos planejadores públicos. Uma alternativa que pode conciliar uma importante agenda de pesquisa frente aos avanços encontrados neste trabalho refere-se ao aprofundamento das informações ligadas à base de dados. 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 países. O trabalho e o esforço empreendido neste artigo representam um avanço rumo ao desenvolvimento de soluções em nível tecnológico ambiental, atrelado também ao caráter multidimensional dos problemas ambientais globais.

6- Referências

- ARUNDEL, A.; KEMP, R. Measuring eco-innovation. *Working Paper Series. UNU-MERIT*, 2009. No. 2009-017, Maastricht: The Netherlands., 2009.
- ARRUDA, C., CARVALHO, F. *Inovações ambientais: oportunidades de negócios, políticas públicas e tecnologias*. 1ª. Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- BARRET, S. The Coming Global Climate-Technology Revolution. *Journal of Economic Perspectives*. V. 23, n. 2, p. 53-75, 2009.
- CMMAD. Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. *Nosso futuro comum*. 2ª. Edição. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1988.
- 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.
- FURMAN, J. L., PORTER, M. E., STERN, S. The determinants of national innovative capacity. *Research Policy*, v. 31, p. 899-933, 2002.
- 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., SOETE, L. *A economia da inovação industrial*. Campinas: Editora da Unicamp, 2008.
- GANTER, A., HECKER, A. Configurational paths to organizational innovation: qualitative comparative analyses of antecedents and contingencies. *Journal of Business Research*, v. 67, n.6, p. 1285-1292, 2014.
- 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.
- 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, Universidade São Paulo, São Paulo, 2013.

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.

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

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. *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., 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.

RAGIN, C. C. From fuzzy sets to crisp Thuth Tables. *Compass Working Paper* WP 2004-28, 2005.

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

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.

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

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.

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

WCED. World Commission on Environment and Development. *Our common future*. Oxford and New York: Oxford University Press, 1987.

WEIDNER, H. Capacity building for ecological modernization: lessons for cross-national research. *American Behavioral Scientist*, v.45, n. 9, p. 1340-1368, 2002.

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.