

Transição energética e o mundo em desenvolvimento: o debate da transição tecno-institucional verde e a periferia.

Mariana Rêis Maria¹

Paulo Sérgio Fracalanza²

Resumo

Esse artigo tem como objetivo principal explorar o debate da mudança climática e da necessidade da transição energética de baixo-carbono, além de propor uma agenda para essas questões nos países em desenvolvimento. A transição energética é vista como um dos principais desafios da emergência de um desenvolvimento mais sustentável. Todavia, essa transição, que depende do desenvolvimento e difusão de energias renováveis, enfrenta grandes barreiras estabelecidas pelas tecnologias intensivas em carbono historicamente construídas pela “Sociedade do hidrocarboneto”. Essa inércia tecno-institucional é conhecida na literatura como *lock-in* do carbono. Trabalhos nessa temática têm sido cada vez mais frequentes, mas pouca atenção é dada para a transição nas economias periféricas. Dessa maneira, esse artigo pretende explorar esse debate, bem como a possibilidade da construção de um regime político de inovação sustentável- uma proposta teórica de promoção de uma transição tecno-institucional verde. Para isso, esse artigo revisita a perspectiva evolucionária da economia que traz contribuições importantes ao debate ambiental. Posteriormente, realiza-se uma análise de possíveis políticas para a transição energética apontando a importância de conciliar objetivos econômicos, ecológicos e sociais, especialmente nas economias periféricas.

Palavras-chave: transição verde; lock-in do carbono; energias renováveis.

Introdução

A transição energética para energias mais limpas emergiu nos últimos anos como um dos maiores desafios econômicos e sociais do século. O objetivo desse trabalho é trazer para o debate da transição

¹ Doutoranda em Economia, Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas.

² Professor Livre Docente, Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas.

energética de baixo-carbono os conceitos da corrente evolucionária da economia de *lock-in* tecno-institucional e *path dependence*, bem como apresentar um conjunto de propostas de como enfrentar a problemática ambiental por meio da integração de políticas ambientais e energéticas/industriais, constituindo uma “mudança tecnológica-institucional verde”. Dentro desse debate, pretende-se levantar questões iniciais quanto à participação dos países em desenvolvimento, buscando também discutir algumas dificuldades peculiares a esses países no que tange à transição energética. Esse levantamento inicial tem o objetivo principal de fomentar uma agenda de pesquisa que procure olhar com mais atenção para o papel dessas economias no movimento global de descarbonização do setor energético.

A Conferência das Partes (COP21), realizada em Paris em 2015, reuniu anos de discussões acerca da mudança climática e seus impactos, as evidências científicas da responsabilidade do homem nesse processo e as possíveis ações para combatê-lo. O compromisso assinado por 195 países foi o de limitar o aumento médio da temperatura global em relação aos níveis pré-industriais a 2°C até 2100, com esforços para não ultrapassar 1,5°C. Para que isso seja possível, a promoção de energias mais limpas é indispensável, ou seja, a transição energética de baixo-carbono é considerada vital para que as metas de redução das emissões e conseqüentemente da desaceleração do aumento da temperatura cheguem ao menos perto de se concretizarem.

A despeito das críticas³, a COP21 representou grandes evoluções em relação às conferências anteriores, como metas claras de comprometimento e a participação de países desenvolvidos não só no controle de emissões, mas também na promoção de instrumentos de adaptação e mitigação dos impactos ambientais decorrentes das mudanças climáticas, especialmente nos países mais pobres e mais vulneráveis aos seus efeitos adversos.

Outra importante iniciativa, também nascida da conferência, é a *Mission Innovation*, rede formada por 22 países e a União Europeia com o objetivo principal de “acelerar drasticamente a inovação global em energia limpa”⁴. Os países participantes, dentre os quais se encontram Brasil, Chile e México, se comprometeram a dobrar os investimentos públicos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) de energias

³Embora tenha sido um passo fundamental no processo de combate às mudanças climáticas, a dificuldade das negociações levaram ao estabelecimento de propostas de redução de Gases do Efeito Estufa (GEEs) não cientificamente compatíveis com a meta de temperatura comprometida. Isso porque se todos os países cumprirem rigorosamente suas iNDCs (*Intended Nationally Determined Contributions*) essas ações ainda não seriam suficientes para manter a temperatura abaixo dos 2°C (ROGELJ *et al.*, 2016). Além disso, é preciso lembrar que o acordo é voluntário, podendo os países não cumprirem plenamente ou mesmo romperem totalmente com suas iNDCs, como fez os EUA sob a administração Trump, sem que nenhuma punição formal tenha sido prevista.

⁴ A descrição da iniciativa pode ser encontrada em seu website oficial <<<http://mission-innovation.net/about/>>>. Acesso em 21 de abril, 2018.

limpas até 2021 ao mesmo tempo em que maiores investimentos provenientes do setor privado nesse tipo de energia seriam encorajados.

Outro fator relevante da COP21, que a distingue das demais, é sua abordagem *bottom up* (BUENO RUBIAL, 2017; CHRISTOFF, 2016; MORGAN, 2016), no qual os países apresentaram suas próprias metas de redução de GEEs por meio das *Intended Nationally Determined Contributions* (INDCs), representando um arranjo em que os países em desenvolvimento assumiram novas responsabilidades. Esse momento das negociações é consequência de uma ruptura nas negociações climáticas que se inicia pós-Kyoto e desemboca no Acordo de Paris. Esse novo regime aumenta a responsabilidade dos países em desenvolvimento no combate às emissões, dada a crescente participação desses no total de emissões (com destaque para a China), às previsões de crescimento populacional e de consumo energético nessas regiões e devido à constatação de que o enfrentamento das mudanças climáticas requer grandes esforços e investimentos como um todo, sendo a cooperação internacional indispensável.

Nesse sentido, os países em desenvolvimento têm papel crescentemente importante na redução das emissões e no combate às mudanças climáticas. Dentro dessa atuação, a transição energética nesses países se apresenta como fundamental. A *Energy Information Administration* (EIA, 2016) estima um aumento de 48% do consumo de energia global para 2040⁵ dentre o qual cerca de 70% se dará em países não membros da OCDE.

Todavia, a transformação de infraestruturas consolidadas e altamente dependentes de fósseis como a estrutura energética não é trivial e encontra grandes barreiras. Unruh (2000) aponta que as economias industriais estão presas no que ele denomina de *lock-in* do carbono e é possível constatar que as economias em desenvolvimento, apesar de um processo de aprisionamento mais recente, já possuem grandes dificuldades de se desvencilhar de uma estrutura produtiva e de consumo altamente poluente. O *lock-in* do carbono é um aprisionamento tecnológico e institucional em tecnologias fósseis presente nas organizações produtivas e financeiras, nos *policy-makers* e na sociedade e que impede que alternativas ambientalmente superiores, como as energias renováveis, tenham espaço para se desenvolverem e se difundirem. Escapar do *lock-in* do carbono e promover uma “revolução verde” exigirá esforços múltiplos, tanto do lado da oferta (investimentos em P&D, inovação), quanto do lado da demanda (mudança de padrão de consumo, incentivo à difusão de tecnologias mais limpas), tendo o setor público um envolvimento indispensável nesse processo, não somente sinalizando as mudanças, mas liderando-as a partir de seu envolvimento na cadeia de inovação e de projetos orientados para uma missão

⁵ Se mantidas as políticas, regulações e metas de consumo e emissão dos países no ano de 2012

(MAZZUCATO *et al.*, 2015; MAZZUCATO; SEMIENIUK, 2016; MAZZUCATO; SEMIENIUK; WATSON, 2015).

É no marco destas discussões que o presente trabalho se divide em três seções. A primeira, busca trazer as contribuições da teoria evolucionária para a questão ambiental e para o entendimento das barreiras existentes ao desenvolvimento tecnológico e institucional de tecnologias mais limpas que constituem o *lock-in* do carbono. A segunda seção busca discutir o aprisionamento das economias em desenvolvimento no carbono, trazendo o debate do *leapfrogging* e algumas limitações dessa abordagem. A terceira seção traz à luz um possível desenho teórico do que se denomina *regime político de inovação sustentável* dentro do conceito maior de Sistema Nacional de Inovação. Finalmente, as conclusões retomam os pontos principais e propõem uma agenda de pesquisa para a transição de baixo-carbono para os países em desenvolvimento.

1. Conceitos de *lock-in* e *path-dependence* para a problemática ambiental-energética.

Na estrutura de suas argumentações, a teoria neoclássica adota largamente, de forma mais ou menos explícita, a hipótese de retornos decrescentes. Isso significa que, no marco das teorias tradicionais, as ações econômicas geram *feedbacks* negativos que permitem um equilíbrio de preços e de *market-share* previsíveis *ex-ante*. Assim, na disputa de mercado por duas tecnologias com a mesma função, o mercado selecionaria as tecnologias de acordo com suas potencialidades, ou seja, as duas tecnologias emergentes acabariam dividindo o mercado numa proporção previsível que melhor explore o potencial de cada uma (ARTHUR, W. BRIAN, 1990).

Em contraponto, a corrente evolucionária da economia entende que o sucesso de uma tecnologia não depende unicamente de fatores técnicos, mas de seu peculiar caminho de desenvolvimento. Essa abordagem traz a possibilidade de os caminhos tecnológicos estabelecidos em uma economia não serem necessariamente ótimos e mais do que isso, admitindo a existência de retornos crescentes, sugere a factibilidade do aprisionamento do mercado em trajetórias inferiores. Os clássicos exemplos do QWERTY, do VHS *versus* Betamax (DAVID, 1985) e dos reatores nucleares (COWAN, 1990) expõem os elementos constitutivos de uma economia complexa, condicionada por fatores muito mais variados do que a simples disposição de recursos e dos programas maximizadores e também ilustram as condições do *lock-in* tecnológico, conceito que vem se apresentando como um importante instrumental para o entendimento das dificuldades apresentadas no desenvolvimento e difusão de tecnologias mais limpas, como as energias renováveis.

Alguns estudiosos vêm tentando entender como se dão os *lock-in's* tecnológicos desde final dos anos 1980. O conceito originalmente surgiu com Arthur (1989) que discute os efeitos dos retornos crescentes na competição entre tecnologias. Nesse trabalho, o autor demonstra que vantagens iniciais na competição para uma dada tecnologia podem ser determinantes para o seu sucesso, criando uma dependência de caminho (*path dependence*) que reforça suas vantagens por meio de retornos crescentes de escala. Essa retroalimentação leva a um aprisionamento da economia em uma trajetória não necessariamente superior que impede a emergência de alternativas potencialmente superiores. Portanto, os efeitos dos retornos crescentes de escala permitem, a partir de *feedbacks positivos*, que uma determinada trajetória tecnológica alcance com o tempo menores custos e maior estabilidade institucional em relação às demais e se estabeleça como projeto dominante (UTTERBACK, 1996). Na literatura, os retornos crescentes mais comumente tratados são: *economias de escala*, *efeitos de aprendizagem*, *expectativas adaptativas* e *economias de rede* (ARTHUR, W., 1994). Vejamos, com mais vagar, cada um destes conceitos.

As *economias de escala*, uma das regularidades descritivas apresentadas por Chandler na gênese das grandes corporações industriais ao final do século XIX, respondem pela queda do custo unitário de produção de um produto na medida em que se amplia a escala produtiva. As fontes mais comuns das economias de escala se devem às indivisibilidades tecnológicas, às vantagens no acesso ao crédito, ou ao maior poder de barganha nas negociações com fornecedores ou clientes para as firmas de maior porte, vantagens estas não assimiláveis para a produção em menor escala. Assim, uma tecnologia dominante, de extenso uso e largamente estabilizada, como o motor à combustão interna, usufrui de imensas vantagens ligadas à escala e, ademais, apresenta grandes *sunk costs* provenientes dos investimentos nela realizados. Assim, os incentivos para investir em tecnologias alternativas (como o motor elétrico) serão diminutos se a tecnologia dominante ainda proporcionar retornos financeiros significativos provenientes das economias de escala.

Os *efeitos pelo aprendizado* ou *learning-by-doing* (ARROW, 1971) ocorrem quando há redução dos custos ou melhorias dos produtos na medida em que se amplia o número de produtos já produzidos, em razão do acúmulo de habilidades e conhecimentos específicos sobre a própria produção e sobre o mercado de uma determinada tecnologia.

Já as *expectativas adaptativas* surgem da diminuição da incerteza quanto ao futuro de certa tecnologia quando produtores e consumidores se encontram mais confiantes em relação a sua qualidade, *performance* e longevidade. A esse respeito, é claro, deve ser mencionado o trabalho clássico de Rosenberg, sobre as *expectativas tecnológicas* que sugere que as expectativas sobre o futuro curso das

inovações tecnológicas são um importante determinante das decisões empresariais com respeito à adoção de novas tecnologias.⁶

E, finalmente, o último tipo – e mais importante por ser o principal associado ao *lock-in* tecnológico – os *efeitos de rede* ou *coordenação* ocorrem quando o uso de dada tecnologia crescentemente adotada por mais e mais usuários em rede, resulta em vantagens crescentes para cada um de seus utilizadores (KATZ; SHAPIRO, 1985). Isso ocorre porque as tecnologias não são unidades físicas isoladas, mas parte de uma ampla rede que consiste em infraestruturas múltiplas que as suportam e tecnologias interdependentes, resultando em uma rede não somente física, mas técnica, econômica e institucional que permite a sobrevivência das tecnologias.⁷

Como a competição entre tecnologias é determinada pelas vantagens crescentes que surgem entre elas, o mercado não é capaz de selecionar a tecnologia com maior potencial, ou revelar as limitações potenciais daquela tecnologia. E isso é o esperado, uma vez que o processo de desenvolvimento e pesquisa, uso e aprendizagem posteriores é que serão capazes de revelar as potencialidades e limitações da tecnologia selecionada até porque a economia está embebida no que se chama de *incerteza knightiana*, em que o futuro não pode ser exatamente previsto por meio de probabilidades verdadeiras. Porém, chama-se a atenção justamente para o fato de que, como os benefícios de adoção são crescentes, pode suceder que avanços no uso de determinada tecnologia tornem muito mais improvável, ou difícil, o desenvolvimento de alternativas ulteriores. Em outros termos, é mais fácil permanecer no padrão adotado do que partir para um novo padrão, ou para uma nova trajetória tecnológica. Isso ocorre não só devido à característica associada à incerteza quanto às novas tecnologias, mas em razão, como já nos referimos anteriormente, à existência de ativos imobilizados presentes na adoção da tecnologia estabelecida, que geram uma estabilidade para o sistema e tornam muito custosa a mudança. Essa condição cria resistências a mudanças nos rumos das políticas públicas e das disposições de mercado que potencialmente inibem o desenvolvimento e difusão de alternativas potencialmente superiores economicamente e socialmente.

Todos os tipos de retornos crescentes identificados na adoção de tecnologias podem ser encontrados também nas instituições. O surgimento de novas instituições ou novas formas de organização institucional sempre encontram grandes barreiras nos custos fixos que emergem das estruturas já existentes. Há também efeitos de aprendizado importantes, efeitos de coordenação diretos com outras

⁶ A esse respeito ver Rosenberg & Nathan (1982), no capítulo *On Technological Expectations*.

⁷ As externalidades de rede são uma classe de retornos crescentes bastante estudadas na literatura. Para saber mais sobre a co-evolução de tecnologias em *clusters*, resultantes das externalidades de rede consultar Freeman e Perez (1988). Sobre *clusters* históricos uma importante referência é Grübler (1998).

organizações e indiretos por meio de investimentos realizados e expectativas adaptativas de um determinado “modelo institucional” – o qual se expressa por meio de conduta, contratos, entre outros fatores padrões – que reduzem a incerteza quando esse mesmo modelo continua vigente (NORTH, 1990; FOXON, 2007).

A importância das inovações no processo de crescimento e desenvolvimento econômico, bem como o papel central atribuído ao processo de *path dependence* e *lock-in* dada pela teoria evolucionária têm sido considerados fundamentais para a compreensão da mudança técnica e institucional necessária para a transição para uma economia de baixo-carbono e o estabelecimento de um desenvolvimento sustentável, no sentido de um “desenvolvimento que satisfaz as necessidades da geração corrente sem comprometer a capacidade das futuras gerações a fazer o mesmo” (WCED, 1987, p. 47). No presente caso, a dificuldade relacionada às mudanças tecno-institucionais que emergem de retornos crescentes auferidos de tecnologias fósseis estabelecidas é conhecida como *lock-in* do carbono (UNRUH, 2000).

As economias industriais – e cada vez mais as em desenvolvimento – estão presas a um *path-dependence* tecnológico e institucional intensivo em carbono, em todos ou quase todos os setores da sociedade contemporânea. Esse aprisionamento emerge da combinação de forças sistemáticas que perpetuam infraestruturas baseadas em combustíveis fósseis, apesar de suas externalidades ambientais negativas conhecidas e em detrimento de alternativas economicamente viáveis e socialmente superiores. Dessa condição emerge um paradoxo: ao mesmo tempo em que existe um profundo consenso científico quanto às ameaças reais da mudança climática para os seres humanos e para as demais espécies, bem como crescentes evidências de que essas ameaças já estão em curso, as transformações necessárias não ocorrem na velocidade que os problemas demandam (UNRUH; CARRILLO-HERMOSILLA, 2006). Ao lado das evidências, surgem diariamente alternativas tecnológicas (inovações de eficiência energética e aplicações de energia renovável, por exemplo) que reduzem significativamente a intensidade de carbono da atividade econômica com redução de custos, mas que não recebem o suporte necessário.

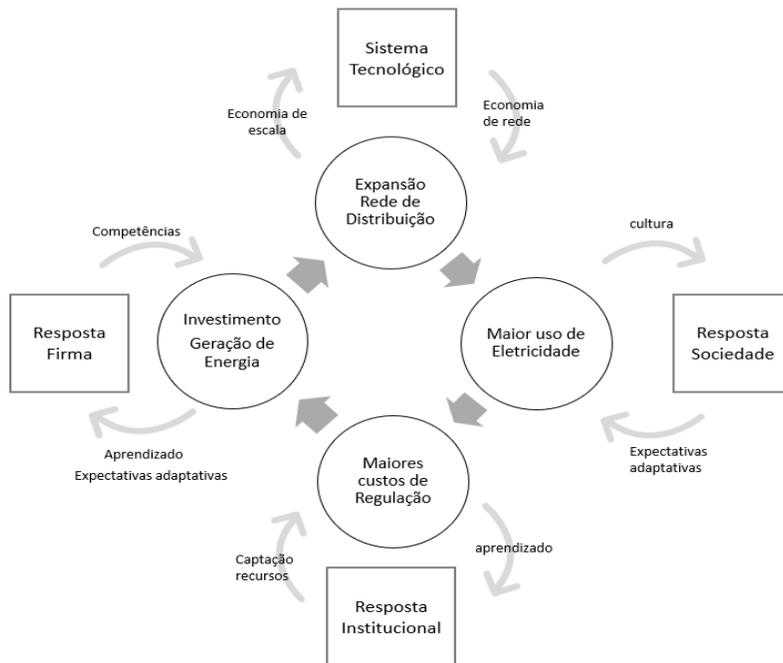
Assim, as tecnologias energéticas fósseis que compõem o *lock-in* do carbono devem ser entendidas como partes de amplos sistemas tecnológicos, no qual componentes inter-relacionados se conectam em redes e/ou infraestruturas compostas de elementos físicos, sociais e informacionais e que ultrapassam o nível da firma especialmente devido às externalidades de rede que emergem das interrelações entre essas grandes estruturas e delas com seus subsistemas (UNRUH, 2000).

Um conceito interessante para entender a emergência do *lock-in* do carbono é o que Unruh (2000) denomina de Complexo Tecno-Institucional (CTI), que representa a interligação entre instituições e

sistemas tecnológicos que o retroalimentam. O CTI emerge a partir de “um processo coevolucionário entre infraestruturas tecnológicas, organizações, sociedades e instituições governamentais” (UNRUH, 2002, p. 317). A figura 1 é uma adaptação da ilustração utilizada pelo autor para explicar o funcionamento do CTI para a produção e distribuição de energia elétrica a partir do mercado elétrico estadunidense.

O diagrama ilustrativo apresenta as principais estruturas que mantêm o CTI (o sistema tecnológico, as organizações privadas e/ou públicas produtoras e distribuidoras, as organizações públicas reguladoras e as instituições sociais) e como essas estruturas se relacionam entre si. O *lock-in* se mantém especialmente devido aos retornos crescentes resultantes dessas interações. Alguns exemplos de retornos foram expressos no diagrama, como a *economia de escala* proveniente da expansão da rede de distribuição elétrica que realimenta o sistema tecnológico e esse que, por sua vez, permite uma maior expansão da rede por meio de *economias de rede*. O diagrama não expressa todas as interações entre os principais agentes desse setor, mas é uma tentativa de apresentar os *feedbacks positivos* presentes em nível macroeconômico que cria e mantém uma condição de *lock-in* após o estabelecimento de um projeto dominante e das indústrias e instituições que emergem para a manutenção do sistema tecnológico. Essa representação não tem um ponto inicial de partida, mas pode-se construir a seguinte linha de raciocínio: as instituições governamentais incentivam ou aprovam o investimento em nova capacidade de geração elétrica, o que expande a escala de produção dentro do sistema tecnológico. Com a expansão física do sistema, os custos da energia se reduzem por efeitos dos retornos crescentes, que também aumentam a confiabilidade do sistema, diminuindo a incerteza e estimulando novos investimentos dentro do próprio sistema. A redução dos custos permite um maior acesso dos consumidores a energia e, conforme mais consumidores passam a utilizar essa energia elétrica, maior a confiabilidade e conveniência de outros consumidores também a utilizarem. Os consumidores inserem o consumo desse tipo de energia em seu modo de vida e inovações incrementais a partir desse sistema surgem para aprimorar ou criar novos usos finais dessa energia. As pontas do diagrama se fecham quando as instituições governamentais, induzidas pelo aumento da demanda, permitem e/ou incentivam mais investimentos em capacidade alimentando um novo ciclo de crescimento. Dessa maneira, conforme o ciclo evolve, o *lock-in* se fortalece tecnologicamente e institucionalmente.

Figura 1- Ilustração do CTI do Setor de Eletricidade



Fonte: ilustração adaptada de Unruh(2000, p. 826)

A figura 1 é uma representação rudimentar da emergência do *lock-in* em setores como o de produção e geração de eletricidade, mas introduz alguns pontos importantes sobre a dependência global das energias fósseis que são comuns à produção energética como um todo. No acordo assinado pelos países na COP21, a transição do sistema energético mundial é tida como um dos principais pilares do acordo para reduzir as emissões de GEE's. Todavia, essa transição encontra barreiras bastante consolidadas pelo uso intensivo de combustíveis fósseis.

O sistema energético que contém todos os processos de extração, conversão, armazenamento, transmissão e distribuição que levam energia para os setores finais (indústria, transporte, construção, bem como agricultura e silvicultura) é uma das principais grandes estruturas que devem ser qualitativamente modificadas para a redução das emissões de CO₂. Ele converte 75% da Oferta Total de Energia Primária (OTEP) em outras formas como eletricidade, calor, produtos derivados do petróleo, do carvão e gás natural. Os principais consumidores finais dessa energia são os setores da indústria, transporte e construção (IPCC, 2014, p. 516–519).

É dentro do sistema energético que as tecnologias limpas e energias renováveis têm grande atuação. O investimento em energias limpas parece ser o grande aliado dos *policy-makers* na transformação da matriz energética intensiva em combustíveis fósseis para uma matriz energética de

baixo-carbono. Mesmo mediante a estabilidade do sistema provocada pelos retornos crescentes, o processo inovador impõe ao sistema um potencial desestabilizador que pode romper endogenamente a estabilidade prévia (UNRUH; CARRILLO-HERMOSILLA, 2006). Essa afirmação é respaldada por modelos de simulação baseados em agentes que demonstram que o efeito dúbio dos retornos crescentes de escala pode ocasionar a emergência de novas tecnologias e o rompimento do *lock-in*. O *lock-in* do carbono adiaría nesse sentido um processo de transição inevitável, porém esse adiamento pode causar consequências graves para a vida na Terra, dado que a resiliência dos ecossistemas é finita (ROCKSTRÖM *et al.*, 2009; STERN, 2007). Portanto, o grande desafio dos *policy-makers* seria no sentido da aceleração desse processo.

2. O *lock-in* do carbono e os países em desenvolvimento

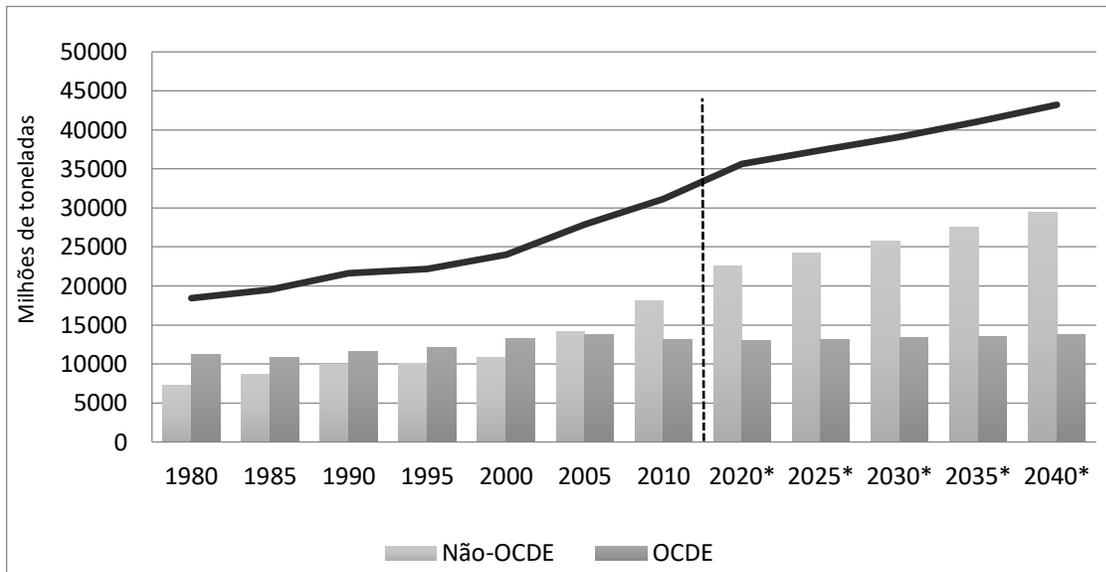
A partir da afirmação de que as economias desenvolvidas se encontram aprisionadas em uma infraestrutura tecnológica e institucional intensiva no uso de energia fóssil, existe uma discussão com o intuito de entender se os países em desenvolvimento estariam ou não caminhando para uma condição similar. Alguns autores apontam a possibilidade de que países em desenvolvimento ainda não estejam aprisionados ao *lock-in* do carbono, possibilitando a essas economias realizar um “salto” ou *leapfrogging* para uma economia de baixo carbono sem passar por uma etapa de dependência energética intensiva de combustíveis fósseis em seus principais setores econômicos, característica comum aos países desenvolvidos (GOLDEMBERG, 2011, 2015; MURPHY, 2001). Todavia, defende-se nesse trabalho que considerações cuidadosas quanto à possibilidade desse salto devem feitas dada a complexidade do problema e a heterogeneidade das economias periféricas.

O conceito de *leapfrogging* energético nos países em desenvolvimento se respalda na ideia de que essas economias, por não terem ainda uma infraestrutura industrial totalmente desenvolvida teriam o benefício, como *latecomers*, de “pular” seu processo de desenvolvimento diretamente para infraestruturas tecnológicas e ambientalmente superiores. Essa questão é de fundamental importância, pois, como dito anteriormente, há previsões de aumento do consumo de energia global até 2040 (ano-base 2012) de 48%, dos quais cerca de 70% se dará em países não membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). As previsões sugerem ainda que grande parte do consumo de energia global se daria por combustíveis fósseis (líquidos,⁸ carvão e gás natural), apesar do

⁸ Grande parte dos combustíveis líquidos é fóssil (gasolina, diesel e querosene, principalmente), mas nessa categoria também estão inclusos combustíveis mais sustentáveis como etanol e biodiesel.

crescimento expressivo das energias renováveis, o que ocasionaria também o aumento de emissões de CO₂ por esses países, como mostrado no gráfico 1(IEA, 2016)⁹.

Gráfico 1: Total de CO₂ emitido pelo consumo de energia, 1980-2040*



Fonte: elaboração própria a partir de IEA(2016) e previsões do IEA (2014)

* previsão

Os defensores da possibilidade de “saltos” se apóiam em exemplos como o setor de telecomunicações, que representa um processo de *leapfrogging*, quando um expressivo conjunto de países em desenvolvimento se moveram diretamente para a telefonia celular, sem necessariamente passar pelas etapas custosas de instalação de redes fixas de telecomunicação.

Muitos paralelos são realizados entre a telefonia móvel e a geração energética de baixo-carbono (solar, turbinas eólicas, entre outras) que poderiam indicar que existem janelas de oportunidade semelhantes para os países em desenvolvimento em relação às tecnologias energéticas. Ambos sistemas podem ser construídos em grande parte sem a necessidade de grandes infraestruturas de fios e ativos de transmissão de longas distâncias, possuem uma modularidade capaz de responder rapidamente à expansão de demanda e suas estruturas descentralizadas podem, com maior facilidade, atingir regiões mais remotas.

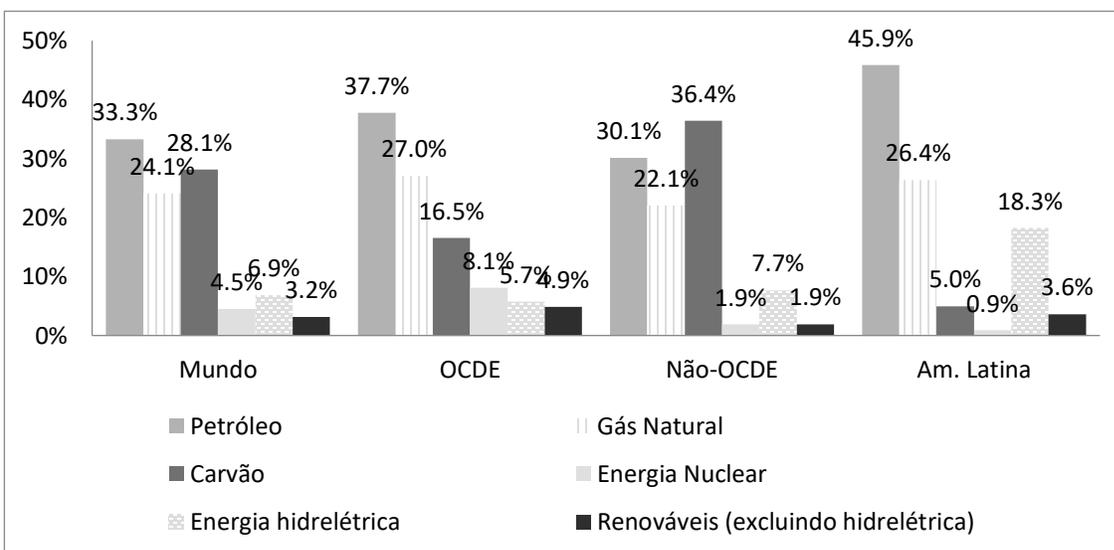
⁹ Esse relatório promove previsões energéticas até 2040 a partir das políticas correntes, leis e regulações dos países tendo como base o ano de 2012.

Entretanto, os paralelos existentes com a telefonia móvel devem ser tomados com certa cautela. Segundo Unruh e Carrillo-Hermosilla(2006)um dos grandes fatores para rápida adoção da telefonia móvel pelos países em desenvolvimento estaria no fato dessa tecnologia estar bem estabelecida e comercializada pelos países desenvolvidos, algo que ainda não é uma realidade no que tange às tecnologias energéticas mais limpas. Além disso, é preciso entender que o aprisionamento do carbono está muito enraizado na construção de uma “sociedade do hidrocarboneto” (DANIEL YERGIN, 2010), uma construção social de padrões de produção e consumo que também vem sendo perseguida pelos países em desenvolvimento. No contexto do desenvolvimento de energias limpas, é necessário entender as particularidades do aprisionamento tecnológico e social do carbono e o papel diferente que as economias em desenvolvimento ocupam.

O gráfico 2 apresenta o consumo de energia primária por fonte no ano de 2016 para países que compõem a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), para os países não participantes, para a América Latina (que inclui América do Sul, Central e México) e o total. Esses dados trazem alguns fatos interessantes sobre o consumo atual de energia. O primeiro deles é a presença muito significativa do consumo global de energia proveniente de petróleo (33,3%), seguida de carvão (28,1%) e de gás natural (24,1%), três fontes de energia fóssil. O segundo elemento é a participação ainda pequena de energias não fósseis no consumo global. Energia nuclear, hidrelétrica e outras renováveis representam juntos 14,6% do consumo, sendo as energias renováveis (hidrelétrica e outras) responsável por apenas 10,1% do consumo global.

Para além da análise global, algumas peculiaridades dos grupos de países (OCDE e não-OCDE e América Latina) representados aqui chamam atenção: o consumo significativo de energia fóssil nos países que não fazem parte da OCDE e da América Latina. Os países não-membros da OCDE como grupo se destacam especialmente por consumirem proporcionalmente mais carvão que a média mundial e dos países membros. Isso se dá em grande parte devido à presença da China nesse grande bloco. O país consumiu, em 2016, 23% de toda a energia primária global da qual 62% proveniente do carvão (que corresponde à 50,6% de todo o carvão consumido globalmente).,A América Latina, chama a atenção pela proporção do consumo de petróleo como energia primária (45,6%) e gás natural (26,4%) dentro do seu consumo total de energia, fator bastante relacionado ao seu papel de produtor (e exportador) mundial desse tipo de energia, ao mesmo tempo em que se destaca fortemente no consumo de energia hidrelétrica (18,3%) liderada pelo Brasil.

Gráfico 2: Consumo de energia primária por fonte, 2016



Fonte: elaboração própria a partir do BP (2017)

Dentro da discussão do aprisionamento ou não dos países em desenvolvimento, o gráfico 1 e 2 trazem algumas considerações importantes da emissão de CO₂ pelo consumo de energia. Dado que o consumo de energia é um componente muito importante do crescimento e desenvolvimento econômico, essas economias ainda dependem consideravelmente do consumo de energias fósseis. Isso é verdade inclusive para a América Latina, região historicamente conhecida pela produção em larga escala de energia renovável. Outros países em desenvolvimento, como a China e Índia, têm investido e desenvolvido fortemente energias renováveis, mas ainda se encontram bastante dependentes do consumo de energias fósseis. Bastante heterogêneas, essas economias são mais ou menos dependentes dos combustíveis fósseis, mas de modo geral, um “salto” direto para uma economia de baixo-carbono não parece uma realidade. Isso não se respalda somente na produção energética mais ou menos renovável, mas no caráter institucional/social do *lock-in* do carbono que não é somente tecnológico. Os *policy-makers* dos países em desenvolvimento ainda têm dificuldade de se desvencilhar do desenvolvimento econômico baseado em padrões de produção e consumo das economias centrais intensivamente dependentes do consumo de fósseis, que comprovadamente não são compatíveis com os limites planetários (ROCKSTRÖM *et al.*, 2009).

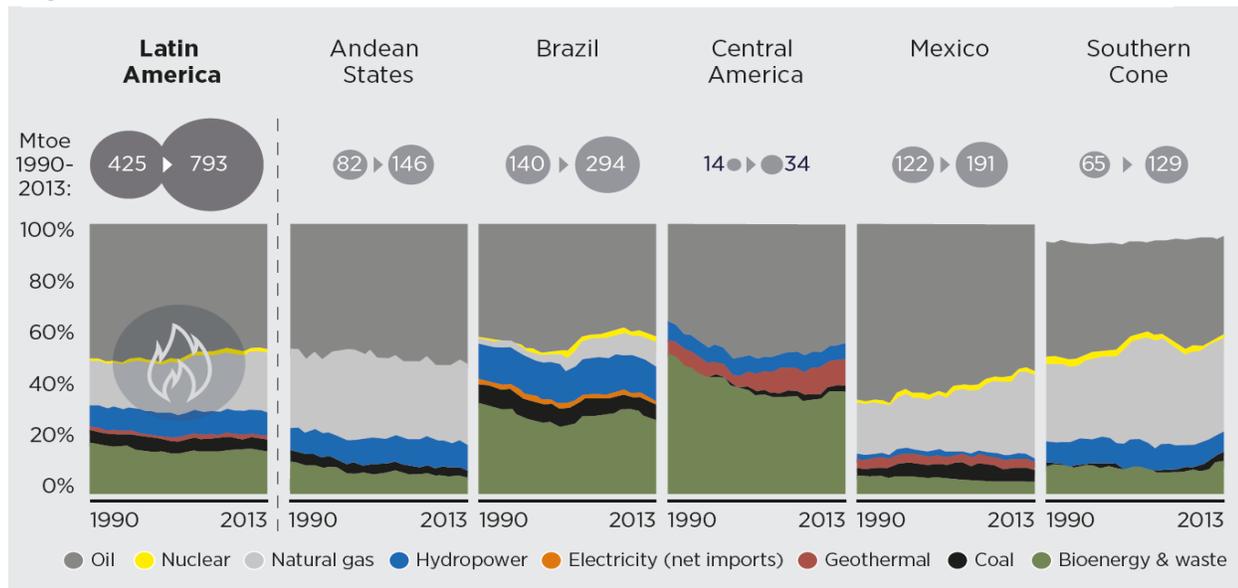
O crescimento e desenvolvimento chinês do século XXI é um exemplo bastante ilustrativo dessa realidade. A China é hoje o país que mais investe no desenvolvimento de energias limpas e coloca hoje o desenvolvimento dessas energias como um grande elemento de seu 13º Plano Quinquenal, mas tanto o *boom* de exportação de produtos manufaturados quanto o desenvolvimento doméstico da China no período se deram baseados intensivamente em combustíveis fósseis, mais especificamente o carvão, o

mais poluente deles. Esse crescimento ao mesmo tempo em que tornou a economia chinesa a segunda maior economia exportadora do mundo (atrás dos Estados Unidos) e tirou milhões de chineses da pobreza trouxe consigo grandes problemas ambientais. O país é o maior emissor global de gases do efeito estufa desde 2007 e, em 2015, 1,1 milhões de mortes foram atribuídas à poluição do ar no país (COHEN *et al.*, 2017).

Portanto, a transição energética de baixo-carbono nos países em desenvolvimento não parece estar relacionada somente à questão tecnológica ou ambiental, mas encontra um grande desafio na necessidade de desenvolvimento dessas regiões e no padrão de desenvolvimento perseguido. É bastante desafiador conciliar um desenvolvimento mais sustentável quando necessidades populacionais básicas (moradia, alimentação, saúde, educação, etc) ainda são deficientes e/ou tecnologias energéticas intensivas em carbono são mais fáceis e menos custosas de acessar, especialmente nas economias que são grandes produtoras de energia fóssil. Mesmo no caso chinês que tem obtido sucesso no desenvolvimento de alternativas energéticas mais limpas, inclusive ganhando mercado internacional, e se consolidou nos últimos anos como uma liderança indispensável no combate às mudanças climáticas, há dificuldades em se desvencilhar totalmente de uma infraestrutura menos custosa economicamente e mais consolidada.

Ainda sobre a América Latina, a figura 2 traz alguns dados interessantes. Conjuntamente, esses países apresentam uma importante produção renovável na Oferta Total de Energia Primária (OTEP), com destaque para biocombustíveis liderados pelo Brasil, e pela presença historicamente forte da energia hidrelétrica comparado ao resto do mundo. Apesar da presença significativa de energias renováveis na OTEP, a região se destaca, assim como no consumo, pela produção de petróleo, contendo 20% do total de reservas de petróleo descobertas disponíveis no planeta (BP, 2016)- reservas que aumentaram com a descoberta de petróleo na Venezuela e Brasil nos últimos anos, e também de gás natural, fonte que recebeu grandes investimentos para sua extração especialmente da Argentina e Bolívia (IRENA, 2016).

Figura 2- Oferta Total de Energia Primária (OTEP) por fonte energética na América Latina e sub-regiões, 1990-2013.

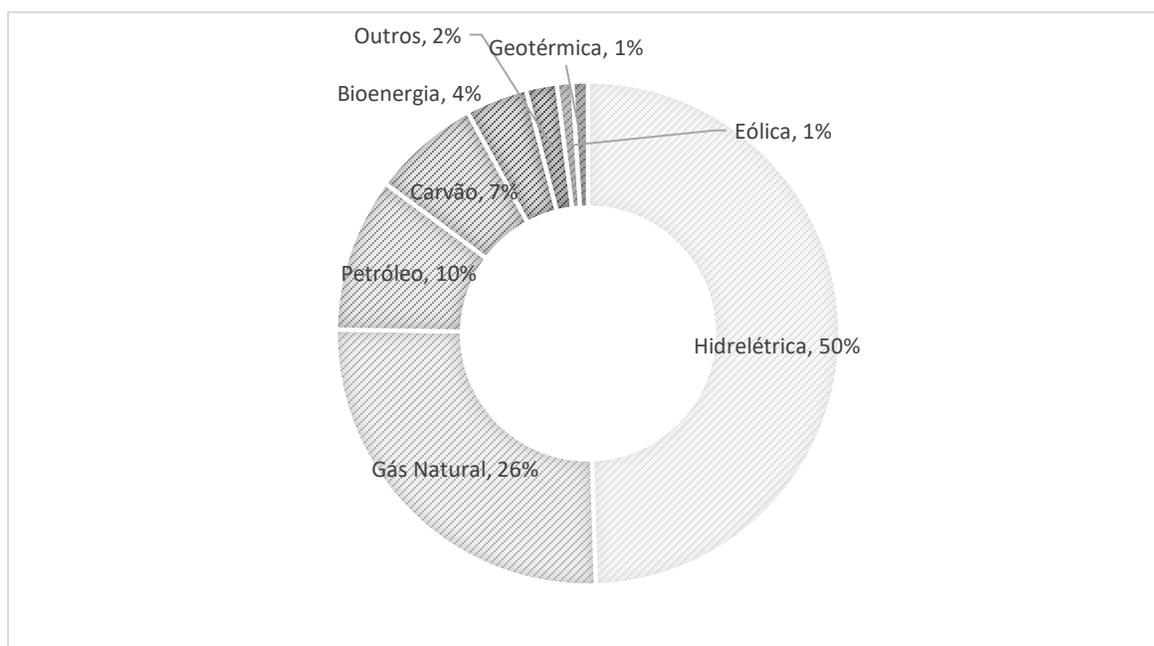


Fonte: extraído de IRENA (2016)

De 2004 a 2016, o investimento em energias renováveis na região cresceu em média 11%, comparado com aumento de 4% no mundo. A tentativa de diversificar a matriz energética renovável emergiu no século XXI como uma saída para promover segurança energética frente à pressão crescente da atividade econômica e da vulnerabilidade climática decorrente da dependência da energia hidrelétrica (gráfico 3). Todavia, um grande desafio apresentado para os países da América Latina no desenvolvimento de alternativas renováveis além da hidrelétrica na conjuntura recente tem sido a guinada liberal de economias importantes que vem acompanhada do rechaço da intervenção pública especialmente por meio de investimentos públicos e de políticas industriais, fatores essenciais para o desenvolvimento de tecnologias que não tem valor comercial imediato e são imbuídas de imensa incerteza.

Historicamente, o desenvolvimento de infraestrutura nos países em desenvolvimento (e não só nos países em desenvolvimento) é bastante dependente dos investimentos públicos ou de empréstimos subsidiados pelos governos. A transição energética chinesa, que tem como um dos seus principais pilares a presença de grandes estatais no setor energético e do banco público *China Development Bank* (CDB) levanta indícios de que para a construção de uma nova infraestrutura energética a presença de investimento público também se faz essencial. A Alemanha, a grande pioneira de políticas de transição em um país desenvolvido, também conta com o aporte do *Kreditanstalt für Wiederaufbau* (KfW), o banco público alemão para diversas políticas de fomento às energias renováveis. Todavia, o investimento público e intervenções por meio de políticas industriais têm sido drasticamente reduzidas nos últimos anos na América Latina.

Gráfico 3- Geração de energia elétrica por fonte na América Latina, 2015.



Fonte: IRENA (2016)

Assim, a partir da existência de um *lock-in* do carbono construído pela *path dependence* tecnológica e institucional, é possível elencar, esquematicamente, alguns problemas comuns que dificultam a emergência e a transição para tecnologias mais limpas: i) problema de preços: os preços das energias fósseis não representam as externalidades ambientais e sociais negativas resultantes de seu uso; ii) incerteza: o processo inovativo é intrinsecamente incerto e para as tecnologias limpas a falta de informação sobre retornos, além dos incentivos não muito claros é uma importante barreira; iii) a economia e seus atores estão adaptados às tecnologias fósseis não só na infraestrutura construída, mas nas interrelações entre setores e culturalmente (economia de escala, economia de rede, expectativas

adaptativas); iv) financiamento: o financiamento às tecnologias mais limpas deve estar disposto a correr altos riscos e ser paciente em um contexto global em que o capital privado tem crescentemente evitado investir em atividades produtivas (MAZZUCATO; SEMIENIUK, 2016).

Os desafios apresentados pelo *path dependence* dos combustíveis fósseis é, portanto, ainda mais sentido nas economias em desenvolvimento que possuem em geral maiores restrições de financiamento, maior instabilidade institucional para garantir longos períodos de suporte político às mudanças institucionais e tecnológicas necessárias e mesmo com um *lock-in* menos desenvolvido em algumas regiões, aonde o desenvolvimento tecnológico pode ser incipiente, as falhas de mercado mais profundas ocasionadas por fortes assimetrias de informações e barreiras de custo que aprofundam os desafios (KEMP; NEVER, 2017)

A seção seguinte procura discutir possíveis caminhos para escapar do *lock-in* do carbono a partir da construção de um *regime político de inovação sustentável* dentro de um Sistema de Inovação Sustentável.

3. Escapando do lock-in do carbono: regime político de inovação sustentável.

Historicamente mudanças tecnológicas e institucionais ocorrem repetidamente em longos períodos de tempo, dando sinais de que, no longo-prazo, mesmo a estabilidade causada por paradigmas consolidados, como o do carbono, possa ter um fim. Todavia, não é só a mudança científica que preocupa, já que alternativas tecnológicas mais sustentáveis aparecem diariamente, mas também a inércia presente nas formas institucionais e organizacionais, sem as quais as tecnologias não podem se difundir. Assim, corre-se o risco da mudança inevitável se dar tarde demais.

Dessa maneira, as políticas públicas têm papel fundamental por apresentarem a possibilidade de expressarem a coalizão de interesses com um determinado fim específico e por poderem permitir, justamente, a emergência de novos competidores dentro de um mercado em que muitas barreiras lhes são colocadas. As políticas públicas têm desempenhado importante papel de catalizadoras da mudança técnica: i) nos programas militares e espaciais nos EUA, que definiram metas tecnológicas, além de providenciar o financiamento para o P&D; ii) no surgimento da indústria química alemã intimamente apoiada pelo governo; iii) nas experiências de *catchingup* dos países asiáticos coordenadas pelo Estado e, mais recentemente; iv) no desenvolvimento da bioquímica, da nanotecnologia e das telecomunicações nos EUA (DOSI, 1982; FREEMAN, 1996; KIM; NELSON, 2005; MAZZUCATO, 2011). Em um mundo dinâmico como o capitalista, as práticas de políticas industriais, por exemplo, são inevitáveis,

mesmo nos países que defendem uma retórica de Estado diminuto: o que pode variar é se essas políticas são feitas de maneira implícita ou explícita e sua forma de execução (SUZIGAN, 2014).

A história tem nos mostrado que transformações sociais e tecnológicas profundas raramente se dão por forças automáticas do mercado, tendo o Estado um papel vital nesses processos. A transição em direção a uma economia de baixo-carbono infelizmente não se dará de maneira automática de acordo com as necessidades do ambiente econômico. Caso o mercado fosse capaz de incorporar em suas análises os riscos embutidos na continuidade de um padrão de produção e consumo nos moldes atuais, as dezenas de previsões e evidências científicas quanto à degradação do meio-ambiente já seriam suficientes para promover mudanças.

Assim, limitar a ação das políticas públicas às externalidades negativas causadas pela ação antropogênica no meio ambiente parece não ser o caminho ideal. Quando se trata de questões em que o retorno social sobre o investimento é maior do que o retorno privado, é muito difícil esperar que a iniciativa privada sozinha busque soluções. Portanto, esperar que as políticas públicas ajam somente sobre essas “falhas de mercado”, seja tentando mitigar os efeitos no estilo *end of pipe*¹⁰ ou apenas financiando pesquisa básica de forma difusa não levará a uma transformação profunda. Considera-se que o papel do Estado pode e deve ser maior do que isso, especialmente na questão ambiental em que “o Estado pode agir como força de inovação e mudança, não apenas reduzindo o risco econômico para os atores privados avessos ao risco, mas também audaciosamente liderando [...]” (MAZZUCATO, 2011, p. 3)

Em relação ao tipo de políticas, políticas científicas e tecnológicas para promover as metas ambientais necessárias diferem dos *mission-oriented projects* adotados nos anos 1950 e 1960 para apoiar o desenvolvimento nuclear, de defesa, espacial, entre outros, que focavam em certas indústrias de maneira isolada do resto da economia. A mudança em direção a uma economia de baixo-carbono requer uma abordagem política sistêmica, reunindo simultaneamente vários atores como o governo, as firmas privadas e os grupos de consumidores (FREEMAN, 1996; SOETE; ARUNDEL, 1993). É uma abordagem muito mais complexa, pois requer a coordenação de inúmeros agentes no âmbito nacional e internacional.

Os novos projetos necessitam criar um ambiente favorável para o desenvolvimento de alternativas energéticas de baixo-carbono e para isso é necessário a construção de um sistema de inovação

¹⁰ Políticas que buscam reduzir os efeitos poluidores no final da cadeia, como por exemplo, filtrar a fumaça de uma chaminé, sem, entretanto, dar um salto qualitativo resolvendo a raiz daquela poluição.

sustentável, ou seja, que favoreça inovações tecnológicas e institucionais que direcionem o sistema para o uso apropriado dos recursos ambientais, respeitando seus limites e gerando justiça social. Esses novos sistemas de inovação precisam conciliar, portanto, a busca por inovações e as questões ambientais. Geralmente, essas duas questões fazem parte de sistemas distintos, baseados em distintas análises, tipos de políticas e diferentes racionalidades de intervenção política. O desafio que se coloca é pensar as políticas públicas de inovação voltadas para atingir objetivos ambientais (FOXON, ; PEARSON, 2008).

A racionalidade que envolve a intervenção pública em questões ambientais está, na maioria das vezes, relacionada a duas “falhas de mercado” que, grosso modo, envolvem a não disponibilidade das firmas em investirem no desenvolvimento de conhecimento com retorno social maior que privado e na tentativa de “internalizar” os impactos ambientais não precificados na economia (as externalidades negativas).

Essa abordagem desconsidera, em primeira instância, a inter-relação entre as duas esferas, ou seja, desconsidera a relação tecnológico-institucional que envolve as decisões das empresas e que estão dentro de um *lock-in* tecno-institucional, como discutido. Como consequência, essas duas “falhas” são, em grande parte das vezes, combatidas por políticas públicas distintas – ou voltadas à inovação ou voltadas às políticas ambientais (FOXON; PEARSON, 2008).

Além dessa separação, essa abordagem considera “linear” o ambiente de inovação, dando origem a políticas limitadas a incentivar o P&D em tecnologias limpas, enquanto espera que isso seja suficiente para que elas cheguem ao mercado (FREEMAN, 1996). Também o foco limitado às externalidades negativas estreita as ações, geralmente estimulando ações adaptativas das firmas (como políticas do tipo *end-of-pipe*) ou favorecendo somente tecnologias que já estão próximas de um estado de comercialização, não permitindo o florescimento ou desenvolvimento de um maior leque de alternativas (FREEMAN, 1996).

Parece, assim, uma alternativa interessante aliar a ideia de sistemas nacionais de inovação com a necessidade de promover a inovação sustentável. Por sistema nacional de inovação se entende “a rede de instituições nos setores público e privado cujas atividades e interações iniciam, importam, modificam e difundem novas tecnologias” (FREEMAN, 1995). Os três principais agentes que compõem esse sistema são: 1) o Estado que é responsável por desenhar e aplicar políticas públicas, especialmente de ciência e tecnologia; 2) as universidades e institutos de pesquisa que devem atuar na realização de pesquisas e criação de conhecimento; 3) as empresas que são responsáveis por realizar investimentos para transformar o conhecimento em produto.

Essa conciliação resultaria na criação, dentro do sistema de inovação, de um *regime político de inovação sustentável*(FOXON; PEARSON, 2008). Por meio dele, a concepção da complexidade do processo de inovação – levando em conta sua dinâmica não-linear e incerta – seria contemplada no projeto de transição para uma economia de baixo-carbono. Por inovação sustentável se entende “inovação em direção a um sistema e processos(...) nos quais o uso de recursos e o descarte da produção estejam dentro de limites ambientais e dentro de níveis sociais de prosperidade e justiça social” (FOXON, T.J.; PEARSON, 2008, p. 148)

A ideia de um regime político de inovação sustentável vem obtendo algum desenho teórico nos últimos anos, sendo construída simultaneamente com algumas experiências de busca pela transição energética. Algumas experiências presentes em países como Alemanha, Holanda, China e Índia podem auxiliar na construção desse desenho. As constatações quanto ao regime político de inovação são resumidas em termos gerais, nos seguintes elementos:¹¹

- 1) Possui o objetivo explícito de promover inovação sustentável. Isso exige a construção de conhecimento em inovações e políticas públicas sistêmicas, dentro de um processo dinâmico em que a incerteza deve ser enfrentada e não se tornar uma desculpa para a inação. Para isso, a formulação de metas claras e de longo-prazo pelos *policy-makers* é essencial. As metas devem estar dentro de um planejamento proativo de longo-prazo do governo que envolva produtores, associações de negócios e todos os *stakeholders* relevantes;
- 2) Busca promover mudanças sistêmicas nas tecnologias, sistemas institucionais e sociais correntes a fim de permitir que metas de longo-prazo sejam atingidas e não barradas pelo *lock-in* do carbono. Isso requer a presença de um *mix* de instrumentos políticos (de demanda e oferta) que possam permitir a paciência necessária para o desenvolvimento de novas tecnologias que vão desde instrumentos de mercado (taxas, licenças negociáveis) para internalizar as externalidades ambientais, o incentivo ao desenvolvimento científico de alternativas de baixo-carbono (contratos de P&D, etc.) até a criação de nichos de mercado¹² para que as novas tecnologias tenham tempo hábil de se desenvolverem e reduzirem seus custos para competirem com as já estabelecidas.

¹¹ Esse “guia” geral foi inspirado em Freeman (1996) de Foxon e Pearson (2008) Kemp e Never(2017) Bush *et al*(2017) e Rodrik(2014).

¹² Alguns estudiosos da transição energética de baixo-carbono como Foxon e Pearson (2008) acreditam que a criação de nichos de mercado é a principal medida para possibilitar a transição. Política que será discutida adiante.

- 3) O *mix* de políticas deve aliar os objetivos de inovação aos objetivos ambientais. Em conjunto essas políticas devem mirar não somente à redução das emissões ou desenvolvimento energético mais limpo, mas também objetivos de desenvolvimento econômico (criação de empregos, redução das desigualdades, maior qualidade de vida à população, etc).
- 4) As metas e políticas devem passar por avaliação constantes, sendo necessária a presença de mecanismos de controle das políticas e programas realizados. O *policy learning* é essencial para que as políticas se ajustem de tempos em tempos às circunstâncias tecnológicas e mercadológicas correntes.

A existência de metas claras e de longo-prazo é o primeiro grande passo de um sistema de que se pretende promover uma transição sustentável. Essas metas devem ser guiadas por avaliações de custos e benefícios econômicos, sociais e ambientais, bem como estudos sobre o desenvolvimento tecnológico e institucional necessários para que as metas colocadas sejam atingidas. Entretanto, devido à incerteza inerente a esse processo, a formulação de metas deve ter também um forte componente participativo e deliberado das políticas públicas, como visto.

A complexidade da transição para regimes mais sustentáveis exige também que a abordagem de políticas seja sistêmica. No lugar da estratégia de “falhas de mercado” a intervenção pública deve ser baseada nas “falhas sistêmicas”, isto é, a identificação de barreiras sistêmicas à transição em que o governo deve atuar. Foxon e Pearson (2008, p. 157) identificam quatro delas: i) *falhas de infraestrutura, provisão e investimento* que se referem às infraestruturas que são embebidas de grande incerteza e longos períodos de operação impossibilitando o provimento de investimentos privados, como por exemplo, a infraestrutura energética e de comunicação, de ciência e tecnologia (universidades, centros de pesquisa e agências regulatórias) que exigem a intervenção e investimento público para seu provimento; ii) *falhas de transição* que fazem referência às dificuldades das firmas existentes em responder à mudança tecnológica (mudança de padrão de demanda ou grandes alterações de regimes e paradigmas tecnológicos) que necessitam de políticas públicas para ajudar as empresas a promover as transformações e/ou incentivar e criar mercado para novos entrantes; iii) *falhas de lock-in* que aprisiona o sistema em tecnologias estabelecidas e impede que novas tecnologias concorram, o que exige um gama de incentivos públicos para as novas tecnologias e novos sistemas tecnológicos a fim de romper essas barreiras; iv) *falhas institucionais* que também fazem parte do *lock-in* tecnológico e representam o conjunto de instituições públicas, sistemas regulatórios e políticos que impõem barreiras às novas tecnologias.

Para endereçar respostas a essas falhas, é necessário um conjunto de políticas que possam não somente promover aprendizado das novas tecnologias, mas criar redes de conhecimento e expectativas futuras positivas de mercado (FOXON; PEARSON, 2008). As falhas de *lock-in* podem ser combatidas a partir da construção de uma *estratégia industrial de baixo-carbono*, ou seja, dentro desse sistema, há a necessidade de “um conjunto de ideias que influenciam o formato e a construção de políticas relacionadas à produção e ao consumo” (BUSCH; FOXON; TAYLOR, 2017, p. 7). Esse grande conjunto de ideias chamada “estratégia industrial” depende da maneira como o papel do Estado é construída e é constituído pelas políticas industriais que descrevem as formas específicas de intervenção que o governo deve utilizar para adotar tal estratégia.

A estratégia industrial de baixo-carbono deve conter um conjunto de objetivos estratégicos concernentes à redução das emissões, ao interesse público (desenvolvimento econômico, bem-estar social), bem como indicar e/ou escolher tipos de atividades econômicas que são tidas como fundamentais para os objetivos estabelecidos. Essa estratégia deve criar e moldar mercados, ou seja, o papel do governo em identificar e ajudar na identificação de setores industrial chaves no processo de transição dada a consideração de que a mudança tecnológica não é automática, é o primeiro passo fundamental.

As políticas industriais presentes no sistema nacional de inovação sustentável devem ser desenhadas a partir de um projeto orientado para uma missão como afirmado por Freeman (1996) e devem fazer parte de um conjunto de políticas diretamente desenhadas para o desenvolvimento de novos mercados (desde seu desenvolvimento científico até a sua difusão), mas também capazes de regulamentar mercados existentes e emergentes.

4. Conclusões

Esse artigo teve como intuito organizar as contribuições de conceitos presentes na corrente evolucionária da economia para a problemática ambiental, bem como discutir o papel dos países em desenvolvimento nesse processo.

Afirmou-se que aplicar os conceitos de *path dependence* e *lock-in* para a problemática ambiental é bastante útil para entender a dificuldade das economias em se desvencilhar, mesmo mediante as inúmeras evidências de seus malefícios ambientais e sociais, de tecnologias intensivas em carbono e desenvolver e/ou difundir alternativas. Essa dificuldade é apresentada como *lock-in* do carbono, uma condição de dependência do uso de tecnologias fósseis, não só economicamente, mas institucionalmente. Um dos grandes desafios desse século é cumprir a meta acordada na 21ª Conferência das Partes de não ultrapassar

2°C de aumento médio da temperatura global até 2100 frente à presença de uma infraestrutura tão consolidada.

Nesse processo, ressaltou-se a centralidade do desenvolvimento das energias renováveis como fundamental para uma transição tecno-institucional verde. A transição do sistema energético para um sistema de baixo-carbono não é somente um caminho para reduzir as emissões, mas também é indispensável para que as previsões de crescimento de consumo energético futuro possam, ao menos em parte, serem suportadas de uma maneira compatível com os limites físicos do planeta. Como visto anteriormente, a *Energy Information Administration*, prevê um crescimento do consumo de energia global em 48% até 2040 (2012 como ano base), crescimento que, caso não haja uma maior difusão de energias mais limpas, será suprido por combustíveis fósseis (EIA, 2016). Portanto, está cada vez mais latente a necessidade de uma transformação estrutural de baixo-carbono que não se limite somente ao consumo mais eficiente de combustíveis fósseis, mas que torne dominantes energias renováveis e mais limpas.

Ressaltou-se que os países em desenvolvimento terão um papel crescente na realização dessa transição. Isso porque grande parte da projeção do crescimento do consumo energético (70%) citada anteriormente se dará em países não-membros da OCDE. Essa mudança na participação dos países em desenvolvimento no combate às mudanças climáticas representa um novo paradigma que começou a ser construído pós Protocolo de Kyoto e teve seu ápice com o Acordo de Paris.

Apresentou-se também que alguns estudiosos acreditam na possibilidade de que os países em desenvolvimento possam não estar aprisionados ao carbono como as economias industriais e que, a exemplo de experiências como as telecomunicações, poderiam dar um “salto” diretamente para uma infraestrutura energética mais limpa. Essa ideia, chamada de *leapfrogging*, foi tomada aqui com cautela. Buscou-se apresentar que os países não-membros da OCDE têm grande dependência do consumo de combustíveis fósseis em suas matrizes energéticas, mas também que o padrão de desenvolvimento buscado por muitos países em desenvolvimento ainda parece se espelhar nos padrões de produção e consumo das economias centrais. Portanto, a possibilidade de um “salto” das economias periféricas diretamente para uma infraestrutura energética mais limpa não parece ser algo plausível dado que o *lock-in* do carbono não se restringe à esfera tecnológica, mas especialmente social/ institucional.

Elencamos que, a partir da existência de um *lock-in* do carbono construído pelo *path dependence* tecnológico e institucional, as economias possuem alguns problemas comuns que dificultam a emergência de tecnologias mais limpas: i) problema de preços; ii) incerteza; iii) expectativas adaptativas/acultramento; e iv) financiamento. Afirmou-se ainda que, para os países em

desenvolvimento, essas barreiras são mais agudas por esses países possuírem, em geral, maiores restrições de financiamento, maior instabilidade institucional para garantir longos períodos de suporte político às mudanças institucionais e tecnológicas necessárias, além da presença falhas de mercado mais profundas ocasionadas por fortes assimetrias de informações e barreiras de custo.

O preço da não ação, entretanto, pode ser bastante alto, trazendo diversos efeitos negativos para o crescimento e desenvolvimento econômico por meio dos efeitos sobre o planeta que afetariam recursos básicos da vida na Terra (STERN, 2007). Logo, o grande desafio é facilitar a transição tecno-institucional verde antes que as consequências sejam irreversíveis. Essa transição acelerada não se dará por forças internas devido às barreiras impostas às energias mais limpas; são necessárias forças “exógenas” para a mudança do paradigma tecnológico baseado intensivamente em combustíveis fósseis .

Considerou-se aqui que as políticas públicas têm papel fundamental na transformação estrutural da matriz energética. O desafio de transitar para um sistema energético de baixo carbono frente aos enormes desafios impostos às tecnologias mais limpas sugere que esse processo requer um conjunto de políticas coordenadas e um regime político favorável ao desenvolvimento de energias mais limpas. Esse conjunto de fatores foi denominado aqui como “sistema político de inovação sustentável”, que alie políticas industriais e de inovação aos propósitos ambientais. Esse sistema deve conter projetos orientados para uma missão (*mission-oriented projects*) e cuja vertente principal é a presença de um *mix* de políticas que definam uma estratégia industrial sustentável.

Para os países em desenvolvimento, essa abordagem parece ainda mais importante dado que a busca de objetivos ambientais deve estar ainda mais aliada aos objetivos de desenvolvimento econômico e bem-estar social. O regime político de inovação sustentável se propõe, portanto, como uma abordagem sistêmica em substituição a uma estratégia de “falhas de mercado”. No regime político de inovação sustentável a intervenção pública deve ser baseada nas “falhas sistêmicas”, isto é, na identificação de barreiras sistêmicas à transição em que o governo deve atuar.

Nesse sentido, esse trabalho buscou contribuir com a proposição de uma agenda de pesquisa baseada num conjunto de questões que se colocam como novos desafios aos países em desenvolvimento. Assim, como aliar objetivos de desenvolvimento com os objetivos ambientais já que parece cada vez mais distante a ideia de que justiça social possa ser separada de justiça climática? Para além da construção do que se colocou nesse trabalho como regime político de inovação sustentável, quais os desafios peculiares aos países em desenvolvimento, explorados aqui de maneira inicial, e quais as formas de endereçá-los? Ainda, seria possível imaginar que o exemplo de países em desenvolvimento que estão

obtendo sucesso no desenvolvimento e difusão de tecnologias mais limpas a exemplo da China e Índia, abrem precedentes para que mais países em desenvolvimento vejam na transição verde e no mercado de baixo-carbono uma oportunidade de geração de emprego, renda e capacidades tecnológicas?

Creemos que estas indagações devem fazer parte do compromisso e do esforço dos pesquisadores e dos *policy makers* que ainda crêem que uma transição para uma forma de organização social e desenvolvimento mais justa, mais igualitária, mais solidária e mais emancipadora é não apenas possível, mas, mais do que isso, incontornável e inegociável.

5. Referências

ARROW, K. J. The Economic Implications of Learning by Doing. **Readings in the Theory of Growth**. London: Palgrave Macmillan UK, 1971. p. 131–149. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-349-15430-2_11>.

ARTHUR, W. **Increasing Returns and Path Dependence in the Economy**. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press, 1994. 201 p. Disponível em: <<http://www.press.umich.edu/10029>>.9780472094967.

ARTHUR, W. Brian. Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. **The Economic Journal** v. 99, n. 394, p. 116 , mar. 1989. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2234208?origin=crossref>>.9788578110796.

ARTHUR, W. Brian. Positive Feedbacks in the Economy. **Scientific American** v. 262, n. 2, p. 92–99 , fev. 1990. Disponível em: <<http://www.nature.com/doi/10.1038/scientificamerican0290-92>>.00475394.

BP. **BP Statistical Review of World Energy - Full report**. [S.l: s.n.], 2016. Disponível em: <bp.com/statisticalreview>.

BP. BP Statistical Review of World Energy June 2017. n. June , 2017.

BUENO RUBIAL, Maria del Pilar. El Acuerdo de Paris: una nueva idea sobre la arquitectura climática internacional? **Relaciones Internacionales** , 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2133/10443>>.

BUSCH. Jonathan et al. **Designing industrial strategy for a low carbon transformation**. , n° 304.

Leeds: [s.n.], 2017.

CHRISTOFF, Peter. The promissory note : COP 21 and the Paris Climate Agreement. **Environmental Politics** v. 25, n. 5, p. 765–787 , 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/09644016.2016.1191818>>.

COHEN, Aaron J. *et al.* Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. **The Lancet** v. 389, n. 10082, p. 1907–1918 , 2017. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)>.0000030449.

COWAN, Robin. Nuclear Power Reactors: A Study in Technological Lock-in. **The Journal of Economic History** v. 50, n. 03, p. 541 , 1990.00220507.

DANIEL YERGIN. **O Petróleo: Uma história mundial de conquistas, poder e dinheiro**,. São Paulo: Paz e Terra, 2010. 1080 p. .9788577531295.

DAVID, Paul A. Clio and the Economy of QWERTY. **The American Economic Review** v. 75, n. 2, p. 332–337 , 1985.0002-8282.

FOXON, T.J.; PEARSON, Peter. Overcoming barriers to innovation and diffusion of cleaner technologies: some features of a sustainable innovation policy regime. **Journal of Cleaner Production** v. 16, n. 1, p. 148–161 , jan. 2008. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965260700217X>>.0959-6526.

FOXON, T.J. Technological lock-in and the role of innovation. In: ATKINSON, Giles; DIETZ, Simon; NEUMAYER, Eric (Orgs.). . **Handbook of Sustainable Development Edited**. [S.l.]: Edward Elgar Publishing Limited, 2007. p. 489.

FREEMAN, C. The ' National System of Innovation ' in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics** v. 19, n. March 1993, p. 5–24 , 1995. Disponível em: <<http://cje.oxfordjournals.org/content/19/1/5.abstract>>. Acesso em: 4 maio 2017.0309-166X.

FREEMAN, C. The greening of technologies and models of innovation. **Technological Forecasting and Social Change** v. 53, p. 27–39 , 1996.

GOLDEMBERG, José. A Review of “The Politics of Sustainability: Philosophical Perspectives”. **Challenges in Sustainability** v. 3, n. 1 , 4 dez. 2015. Disponível em: <<http://www.librelloph.com/challengesinsustainability/article/view/240>>.

GOLDEMBERG, José. Technological leapfrogging in the developing world. **Georgetown Journal of International Affairs** v. 12, n. 1, p. 135–141 , 2011.

IEA. **Key World Energy Statistics 2016**. [S.l.]: IEA, 2016. 80 p. Disponível em: <<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>>. (Key World Energy Statistics). .9789264266520.

IEA INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy Technology Perspectives 2014. **Iea** p. 14 , 2014. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives2016_ExecutiveSummary_EnglishVersion.pdf>.9789264208001.

IPCC. **Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 1454 p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>>. .9781107415416.

IRENA. **Renewable Energy Market Analysis: Latin America**. [S.l: s.n.], 2016. 1-110 p. .9789295111493.

KEMP, René; NEVER, Babette. Green transition, industrial policy, and economic development. **Oxford Review of Economic Policy** v. 33, n. 1, p. 66–84 , 1 jan. 2017. Disponível em: <<https://academic.oup.com/oxrep/article/2972708/Green>>.

MAZZUCATO, Mariana. **The entrepreneurial state**. London: [s.n.], 2011. 131-142 p. 49 v. Disponível em: <<http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=1362-6620&volume=49&issue=49&spage=131>>. .9781906693732.

MAZZUCATO, Mariana *et al.* The Green Entrepreneurial State. v. 28, p. 37 , 2015. Disponível em: <<https://www.sussex.ac.uk/webteam/gateway/file.php?name=2015-28-swps-mazzucato.pdf&site=25>>.

MAZZUCATO, Mariana; SEMIENIUK, Gregor. Financing Renewable Energy: Who is Financing What and Why it Matters. v. 12, p. 50 , 2016.

MAZZUCATO, Mariana; SEMIENIUK, Gregor; WATSON, Jim. What will it take to get us a Green

Revolution? p. 1–16 , 2015.

MORGAN, Jamie. Paris COP 21 : Power that Speaks the Truth ? v. 7731 , 2016.

MURPHY, James T. Making the energy transition in rural east Africa: Is leapfrogging an alternative? **Technological Forecasting and Social Change** v. 68, n. 2, p. 173–193 , 1 out. 2001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162599000918>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

ROCKSTRÖM, J *et al.* Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. **Ecology and Society** v. 14, n. 2, p. 1–32 , 2009.0028-0836.

RODRIK, Dani. Green industrial policy. **Oxford Review of Economic Policy** v. 30, n. 3, p. 469–491 , 2014.9780874216561.

ROGELJ, Joeri *et al.* Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. **Nature** v. 534, n. 7609, p. 631–639 , 29 jun. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature18307>%5Cn<http://10.1038/nature18307>%5Cn<http://www.nature.com/nature/journal/v534/n7609/abs/nature18307.html#supplementary-information>>.0028-0836.

SOETE, Luc; ARUNDEL, Anthony. An integrated approach to european innovation and technology diffusion policy(a Maastricht memorandum). **EUR(Luxembourg)** , 1993.

STERN, Nicholas. **The Economics of Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 692 p. p. Disponível em: <<http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9780511817434>>. .9780511817434.

UNRUH, Gregory C. Escaping carbon lock-in. **Energy Policy** v. 30, n. 4, p. 317–325 , mar. 2002. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421501000982>>.0950-5849.

UNRUH, Gregory C.; CARRILLO-HERMOSILLA, Javier. Globalizing carbon lock-in. **Energy Policy** v. 34, n. 10, p. 1185–1197 , jul. 2006. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421504003209>>.0301-4215.

UNRUH, Gregory C. Understanding carbon lock-in. **Energy Policy** v. 28, n. 12, p. 817–830 , out. 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421500000707>>.9788185353616.

UTTERBACK, J.M. **Dominando a dinâmica da inovação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996. 264 p. .

WCED (World Commission on Environment and Development) (1987), *Our Common Future*, Oxford: Oxford University Press.