

Desafios à Implementação de Práticas Sustentáveis nas Indústrias Químicas Brasileiras

VITOR MACIEL DE SOUSA RODRIGUES

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO DE JANEIRO - IFRJ

LILIAN BECHARA ELABRAS VEIGA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO DE JANEIRO - IFRJ

DESAFIOS À IMPLEMENTAÇÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS NAS INDÚSTRIAS QUÍMICAS BRASILEIRAS

INTRODUÇÃO

Quando se considera o conceito de Desenvolvimento Sustentável proposto pelo Relatório de Brundtland em 1987, isto é, o conceito de um desenvolvimento que satisfaça as necessidades das gerações presentes, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprirem suas próprias necessidades (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1987), a análise sobre o setor das indústrias químicas e sobre os riscos socioambientais associados à sua produção ganha relevância considerável, principalmente devido a sua importância estratégica para a economia, ambiente e sociedade (ACC, 2018).

De fato, todos os setores da sociedade dependem direta ou indiretamente das indústrias químicas, desde a saúde à agricultura (FARIAS; FÁVARO, 2011) e é inegável a dependência criada nas economias industrializadas por produtos químicos sintéticos, seja pela demanda por produtos finais de consumo, seja pela variedade de insumos intermediários empregados nos processos de produção das indústrias têxtil, eletrônica, automobilística e inúmeras outras (DEMAJOROVIC, 2000; BORELLI, 2014). Para Demajorovic (2000) o setor das indústrias químicas é um dos mais dinâmicos e vitais de qualquer economia industrializada.

Entretanto, a variada gama de impactos e riscos ambientais a que a produção química está associada revela a insustentabilidade inerente ao padrão convencional de crescimento do setor. Ainda que não constitua o setor mais poluente em termos de volume de resíduos gerados, o setor das indústrias químicas é o que produz a maior quantidade e maior variedade de resíduos tóxicos (DEMAJOROVIC, 2000); resíduos estes que, com suas potenciais características toxicológicas e ecotoxicológicas, apresentam geralmente efeitos desconhecidos sobre o ambiente e a saúde humana.

A cadeia de produção das indústrias químicas, gera também outros impactos, como a própria fabricação de produtos potencialmente perigosos, o elevado consumo de recursos hídricos, a geração de efluentes em larga escala, a emissão de poluentes atmosféricos derivados do processamento de insumos, o acentuado consumo de matérias-primas naturais e a elevada demanda de energia necessária aos processos produtivos (CNI, 2017; FREITAS *et al.*, 2015).

Ao mesmo tempo que geram significativos impactos ambientais, as indústrias químicas se diferem das demais por apresentarem uma relação especial com o desenvolvimento tecnológico e com a pesquisa científica. Também conhecidas como “indústrias baseadas em ciência” ou “*science-based industries*”, as indústrias desse setor são as que apresentam a maior taxa de inovação no mercado, com uma contínua alteração de seus produtos e processos para atender as demandas da economia moderna (DEMAJOROVIC, 2000; ACC, 2018). Constituindo um ponto de interseção entre ciência, pesquisa, desenvolvimento e produtividade, este pode ser considerado um dos segmentos de produção mais promissores no estudo da sustentabilidade aplicada aos processos operacionais e aos negócios, principalmente quando se considera o conceito deecoinovação (UNEP, 2019; CGEE, 2010; ALMEIDA, 2012).

Nesse sentido, inúmeros projetos e iniciativas já foram desenvolvidos visando a redução dos impactos resultantes da produção química e a substituição de processos poluentes por outros, alinhados ao conceito de Produção mais Limpa (P+L), estratégia ambiental desenvolvida pela *United Nations Environmental Program* (UNEP) na primeira metade da década de 90 (KIPERSTOK *et al.*, 2002). Entre esses projetos e iniciativas pode-se citar o programa Atuação Responsável, a Minimização de Resíduos, *Design for the Environment* e a Química Verde, sendo esta última a mais abrangente e difundida pela indústria química moderna (FARIAS; FÁVARO, 2011).

Com o desenvolvimento desse cenário, as indústrias químicas encontram atualmente visíveis vantagens competitivas na adoção de práticas sustentáveis, tanto em diferencial de marketing, melhora na imagem da empresa, aumento da produtividade, redução de custos e otimização na eficiência dos processos, quanto na criação de valor e confiança nas relações com os consumidores e com a sociedade (BASTOS *et al.*, 2019; CGEE, 2010; CRUZ *et al.*, 2014).

O Brasil possui cerca de 961 plantas industriais de produção química e ocupou em 2017 o 6º lugar em países com o maior faturamento líquido da indústria química mundial (ABIQUIM, 2018). Apesar disso, o Brasil, que ocupou em 2017 o 6º lugar em países com o maior faturamento líquido da indústria química mundial (ABIQUIM, 2018), apresenta um limitado desenvolvimento de práticas ou ações relacionados à produção mais limpa no setor (GARCIA; NETTO; MIRAGLIA, 2016), além de se destacar quanto ao significativo número de crimes ambientais por parte destas indústrias (FIOCRUZ, 2019), o que revela um cenário de irresponsabilidade socioambiental recorrente em muitas das grandes corporações nacionais, apesar do rigor verificado na legislação ambiental brasileira (WISNIEWSKI; BOLLMANN, 2012).

PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVO

Dada a importância econômica que possuem, a capacidade que apresentam de assimilar e estimular o desenvolvimento científico e tecnológico e a magnitude dos impactos que acarretam, o presente estudo tem por objetivo compreender quais são os principais obstáculos à implementação de práticas sustentáveis nas indústrias químicas no Brasil.

Para isso foi realizado um levantamento bibliográfico de artigos e publicações referentes ao tema, disponibilizadas nos portais Capes, *Google Acadêmico* e *Science Direct*. Para a seleção das publicações foram considerados como critérios de refinamento pré-estabelecidos:

1. A abordagem, na publicação, de maneira direta ou indireta, de desafios ou obstáculos relacionados à implementação de práticas sustentáveis na indústria química;
2. Período de publicação compreendido entre os anos de 2009 e 2019;
3. Idioma inglês e português.

O referencial bibliográfico selecionado, composto por artigos de revisão da área, estudos de caso, pesquisas documentais e relatórios de instituições e centros de pesquisa, foi submetido a uma análise categorial organizada por meio do *software* Planilhas *Google*, possibilitando a identificação dos principais fatores, temas e subtemas que resultam em desafios à implementação de práticas sustentáveis pelas indústrias químicas no Brasil.

Ao abordar o progresso das práticas sustentáveis, especialmente da Química Verde, nas indústrias químicas nacionais, o presente estudo pretende contribuir para as discussões referentes à promoção do Desenvolvimento Sustentável em um setor específico e significativo da economia brasileira. Tais práticas, mesmo que delimitadas a uma área de atuação específica, dialogam com o cumprimento pelo Brasil dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, justamente por objetivarem a redução de impactos à coletividade provenientes das atividades poluidoras características do setor em estudo, ao mesmo tempo que possibilitam que seu crescimento se dê de forma sustentável e responsável.

O presente estudo poderá, portanto, subsidiar a elaboração de estratégias que fomentem o desenvolvimento sustentável e auxiliem o processo de tomada de decisão pelo setor público e privado, contribuindo para a efetivação de um crescimento econômico associado à proteção ambiental e justiça social.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Demajorovic (2000) e Borelli (2014) destacam o papel da indústria química diante do conceito de sociedade de risco, em que a periculosidade e os riscos da atividade humana ultrapassam os limites convencionais de controle em virtude da difusão de suas fontes e da abrangência de suas consequências. Para esses autores, entretanto, o desenvolvimento de práticas que garantam a segurança dos produtos e processos pode mitigar ou erradicar os aspectos mais impactantes do setor, ao mesmo tempo que garantem a melhoria na qualidade de vida das populações através dos impactos socioeconômicos positivos associados às indústrias químicas, como a geração de empregos, movimentação da economia, desenvolvimento da infraestrutura local, atendimento à demanda da sociedade por produtos químicos sintéticos, e o estímulo ao progresso técnico-científico, melhorando a qualidade de vida dos seres humanos.

Nesse sentido, Matlin *et al.* (2015) destacam o papel da química, e portanto da indústria química, no cumprimento dos ODS, dada a sua participação em maior ou menor escala em inúmeras áreas de relevância atual para o tema. Os autores ressaltam entretanto, a necessidade de mudanças radicais no campo da química para que ela possa efetivamente se tornar uma impulsionadora do desenvolvimento sustentável.

Através da adoção de práticas sustentáveis em seus setores produtivos e gerenciais a indústria química brasileira vem, de fato, obtendo resultados significativos na melhoria de seu desempenho ambiental ao longo das décadas, de acordo com o relatório “A Química como Criadora de Soluções para o Desenvolvimento Sustentável” publicado pela Confederação Nacional das Indústrias (CNI) em parceria com a Associação Brasileira de Indústrias Químicas (ABIQUIM) no ano de 2017. Nesse relatório são registrados avanços relacionados, por exemplo, ao reúso de efluentes tratados, redução na geração de resíduos, aumento da eficiência energética, etc. Muitos desses avanços estão associados à adoção de práticas sustentáveis já consolidadas pelas indústrias, como as propostas pelo Programa Atuação Responsável ou por normas de gestão específicas (CNI, 2017).

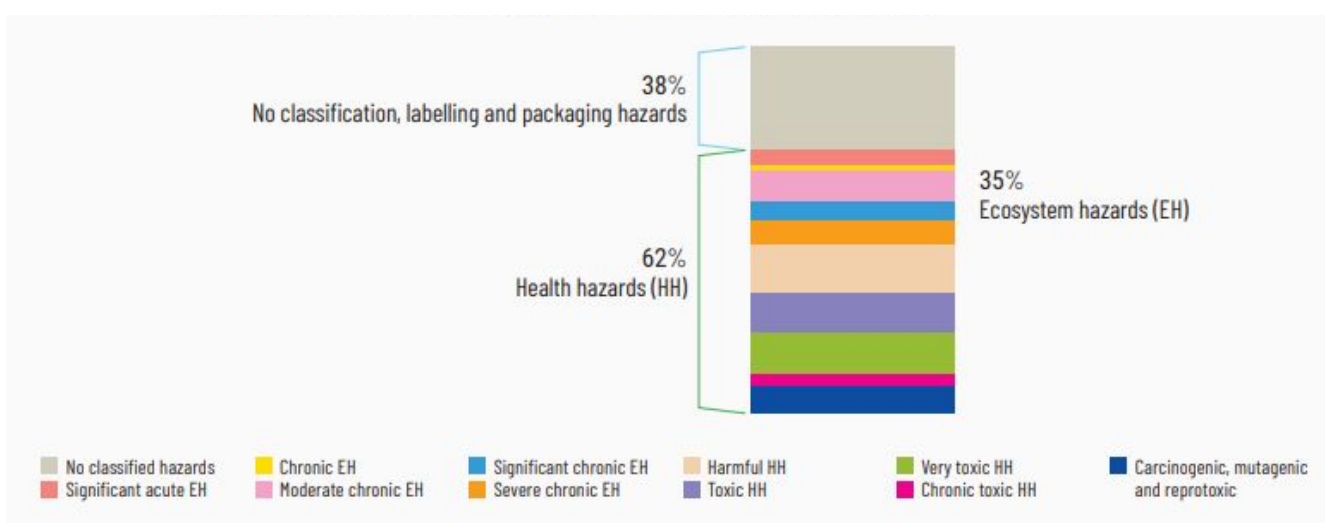
Apesar dos avanços verificados, de acordo com Garcia, Netto e Miraglia (2016), a sustentabilidade na indústria química brasileira ainda encontra-se em estágio inicial de desenvolvimento, com foco principal de atuação dirigido para as externalidades mais diretas,

existindo ainda a necessidade de progressos na implementação de iniciativas que englobem estrategicamente todos os impactos das atividades da indústria química e de seus produtos, especialmente em um contexto de crescimento do setor e dos problemas a ele associados.

É nesse sentido que a UNEP publicou em 2019, a pedido da ONU, o relatório *Global Chemicals Outlook II*, relacionando as principais informações referentes à gestão de produtos químicos e resíduos perigosos, assim como à atual situação da poluição química pelo mundo. De acordo com a UNEP (2019), nos últimos anos tem se verificado um crescimento acentuado na produção e comercialização de produtos químicos, principalmente em países de baixa e média renda, onde a rigorosidade da legislação tende a ser reduzida. Atualmente, cerca de 40.000 a 60.000 produtos químicos de origem industrial são comercializados pelo mundo e estima-se que até 2030 esses valores irão dobrar (UNEP, 2019). Em função desse crescimento vem aumentando também a preocupação global com os potenciais impactos da poluição química que estão associados não só ao processo produtivo, mas à todo o ciclo de vida dos produtos químicos fabricados.

Em 2016, 62% do volume de químicos consumidos na União Europeia (UE) foram considerados perigosos à saúde, e 36% perigosos ao ecossistema (Figura 1) (UNEP, 2019).

Figura 1 - Quota do volume de produtos químicos consumidos na União Europeia em 2016 por categoria de perigo.



Fonte: UNEP, 2019

Além disso, são registrados impactos diretos e indiretos da produção química relacionados à poluição hídrica, emissões atmosféricas e produção de resíduos perigosos. Estima-se, por exemplo, que de 6 a 10% de toda a produção de plástico do mundo seja destinada ao despejo em oceanos (ESSEL *et al.*, 2015); e que, das 20.3 a 28.8 milhões de toneladas de resíduos perigosos gerados anualmente nos Estados Unidos, mais de 70% sejam provenientes dos segmentos químico e petroquímico juntos (UNEP, 2019).

Além disso, à medida que aumenta a comercialização de produtos químicos descartáveis (presentes em eletrônicos, óleos, tintas, vernizes, agentes de limpeza, solventes e pesticidas)

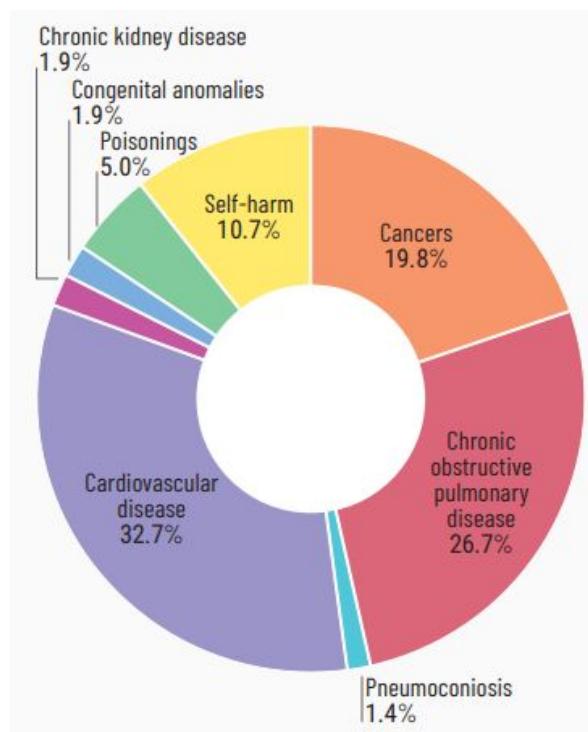
nos países em desenvolvimento, os resíduos municipais também passam a adquirir o caráter de periculosidade, se destacando a geração de lixo eletrônico e a sua disposição inadequada (UNEP, 2019).

Em termos de emissões atmosféricas, além do lançamento direto de poluentes na atmosfera pelas indústrias, onde se destacam as emissões de amônia, ácido clorídrico, ácido sulfúrico, sulfeto de hidrogênio, metano, gás carbônico, estireno, tolueno, etc., muitos poluentes têm sua fonte de emissão na combustão de resíduos dispostos inadequadamente em depósitos e lixões, sendo esta a principal fonte, por exemplo, das emissões de dioxinas, furanos e PCDD/PCDF, com claras consequências à saúde humana e ao ambiente (UNEP, 2019; ZHANG *et al.*, 2017).

Ainda expressiva, mas menos documentada, é a emissão originada da volatilização dos produtos químicos utilizados em materiais de construção, de limpeza, mobiliários e cosméticos, como formaldeído, hidrocarbonetos poliaromáticos, tricloroetileno e tetracloroetileno, sendo esta a segunda principal fonte de poluição *indoor*, atrás apenas do cigarro (UNEP, 2019).

São variados os efeitos sobre a saúde humana decorrentes dessa poluição química crescente (Figura 2), sendo identificados como as principais causas desses efeitos: o uso de produtos cotidianos cujos riscos ainda não são plenamente conhecidos, a disposição irregular de resíduos perigosos da indústria química ou ainda a exposição ocupacional de funcionários de indústrias a atividades altamente poluentes (UNEP, 2019).

Figura 2 - Causas de Óbitos Atribuídos a Produtos Químicos Seleccionados no Ano de 2016



Fonte: WHO, 2018

Em decorrência da emergência da poluição química na atualidade, vêm aumentando o número de publicações acadêmicas referentes ao tema da Química Verde, bem como o desenvolvimento de novas rotas sintéticas e tecnologias de produção aplicadas à sustentabilidade das indústrias químicas (FARIAS; FÁVARO, 2010).

A Química Verde é definida originalmente por Anastas e Warner (1998) como o “planejamento, desenvolvimento e aplicação de produtos e processos químicos, tendo como objetivo reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias perigosas” (tradução nossa). Percebe-se assim uma abordagem voltada para o planejamento das sínteses químicas e para o *design* a nível molecular, de forma a atingir a sustentabilidade em todos os estágios do Ciclo de Vida dos produtos químicos (ANASTAS; WARNER, 1998). Assim, o uso de catalisadores, a utilização de matérias-primas renováveis e o desenvolvimento de compostos seguros são alguns exemplos de princípios que constituem a Química Verde (FARIAS; FÁVARO, 2010).

Apesar dessa definição original, o conceito de Química Verde vem se expandindo conforme se amplia seu campo de atuação na indústria química, de forma que atualmente ele abarque o desenvolvimento de qualquer modificação planejada nos processos produtivos químicos visando a prevenção de um potencial impacto negativo ao ambiente ou à saúde humana (ALMEIDA, 2012). Para Carioca *et al.* (2010), a Química Verde está intimamente associada aos conceitos de inovação verde, P+L, prevenção na fonte e tecnologias limpas.

Nesse contexto, novos setores socioprodutivos despontam como promissores no paradigma do desenvolvimento sustentável a partir de inovações tecnológicas da indústria química. Entre esses setores, assume especial relevância o desenvolvimento da bioindústria - segmento voltado para a conversão de recursos renováveis em produtos de valor agregado, como bioprodutos, biocombustíveis e bioenergia (ALMEIDA, 2012; CARIOCA *et al.*, 2012; MOREIRA, 2019). Considerando-se a capacidade de aproveitamento de resíduos e subprodutos agrícolas como insumos dos processos produtivos, o Brasil apresenta uma posição privilegiada para liderar o desenvolvimento da bioindústria, dada sua vantagem estratégica como um dos maiores produtores mundiais do agronegócio (MOREIRA, 2019).

No Brasil, os avanços de inovações associadas à Química Verde ainda apresentam obstáculos específicos de desenvolvimento (CGEE, 2010). Nesse sentido, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) publicou em 2010 o relatório “Química Verde no Brasil: 2010 - 2030”, avaliando o cenário geral de desenvolvimento no Brasil das principais áreas relacionadas à Química Verde.

Em estudo similar, Moreira (2019), através de pesquisa bibliográfica, identificou os principais entraves para o desenvolvimento da bioindústria no Brasil, agrupando-os em cinco blocos de desafios: matérias-primas, tecnologia, produto, estratégia e modelos de negócio e políticas públicas. Por meio de questionário enviado a profissionais da área, e de uma análise fatorial, Moreira (2019) classificou como mais relevantes os desafios nas áreas de tecnologias e políticas públicas, indicando possibilidades concretas de desenvolvimento do segmento na indústria química brasileira.

Contribuindo na discussão a respeito desse tema, e do tema da sustentabilidade na indústria química de uma forma geral, o presente trabalho pretende aprofundar a descrição desse

cenário, sintetizando os principais obstáculos mencionados direta ou indiretamente nessas e nas outras referências bibliográficas consultadas.

DISCUSSÃO

O levantamento bibliográfico foi realizado com base em 30 publicações diferentes, das quais foram selecionados 300 fragmentos relevantes para o tema em discussão. A partir da análise categorial empreendida, os fragmentos foram subdivididos em cinco categorias gerais que descrevem as áreas mais relevantes de desafios para a implementação de práticas sustentáveis na indústria química: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I); Viabilidade Econômica; Atuação do Poder Público; Logística; Conscientização. Foram igualmente identificadas 12 subcategorias que correspondem aos desafios específicos descritos para cada área, listados no quadro 1.

Quadro 1 - Categorias e Subcategorias identificadas na Análise Categorial

Categorias	Subcategorias
PD&I	Limitações Tecnológicas
	Rede Institucional de Parcerias
	Investimentos
	Riscos e Incertezas no Processo de EcoInovação
Viabilidade Econômica	Baixa Competitividade no Mercado
	Percepção de Benefícios Econômicos
Atuação do Poder Público	Aperfeiçoamento Regulatório
	Políticas Públicas de Incentivo
Logística	Associação entre Setores da Cadeia Produtiva
	Intercâmbio de Dados e Conhecimentos
Conscientização	Educação
	Integração entre Ciência, Mercado e Sociedade

Apesar da delimitação específica de cada desafio, pode-se estabelecer entre eles relações de complementaridade que permitem a compreensão integrada do cenário institucional de obstáculos ao desenvolvimento sustentável da indústria química.

Nesse cenário, o setor de PD&I, assume expressiva relevância, especialmente quando se considera a importância das inovações disruptivas da Química Verde para a reestruturação das atividades da indústria química possibilitando o desenvolvimento de novos mercados e modelos de negócio mais sustentáveis (ALMEIDA, 2012; UNEP, 2019; CGEE, 2010).

A análise dos fragmentos selecionados, entretanto, revela uma quantidade significativa de limitações tecnológicas que dificultam a aplicação das inovações no mercado de forma segura e competitiva. Entre as principais limitações identificadas, encontram-se dificuldades técnicas referentes ao escalonamento dos projetos para a produção em larga escala, à conversão da biomassa em produtos de alto desempenho e à redução nos impactos associados aos produtos e processos desenvolvidos pela indústria (ALMEIDA, 2012; GOMES *et al.*, 2018; PEREIRA; SILVA, 2014; FERREIRA; DA ROCHA; DA SILVA, 2013; ZAMBINI *et al.*, 2013) .

Por sua vez, a principal causa identificada para a existência dessas limitações é a carência de investimentos em PD&I no Brasil. De acordo com a CNI (2017), “a maior parte do setor ainda não tem tradição em gestão tecnológica e é dependente de compra ou transferência de tecnologias de processos e produtos para poder manter seus negócios”. A ausência de recursos investidos na área é relatada como a principal causa da descontinuidade de iniciativas de inovação tecnológica, principalmente as que se encontram em fase inicial de desenvolvimento (UNEP, 2019). O elevado custo e tempo de retorno envolvendo esses investimentos parece ser o principal obstáculo para a atração de investimentos voltados para projetos de grande porte, como o desenvolvimento de biorrefinarias (CGEE, 2010). Ao mesmo tempo, as pequenas e médias empresas são as mais impactadas, em função de sua restrição financeira, o que as condiciona a uma postura reativa na adoção de práticas sustentáveis (TREPTOW *et al.*, 2019), voltada somente para o atendimento à legislação. Igualmente, as *start-ups*, descritas como importantes agentes da inovação no mercado, encontram dificuldades de desenvolvimento, já que são caracterizadas pela elevada dependência de financiamento externo (MOREIRA, 2019; UNEP, 2019).

Outra possível causa para o limitado ambiente de inovação na indústria química do país é a existência de riscos e incertezas associados ao processo deecoinovação (CGEE, 2010; CRUZ *et al.*, 2014; MOREIRA, 2019; NETO, 2010). No setor da bioindústria, por exemplo, o desenvolvimento simultâneo de múltiplas rotas tecnológicas de processamento cria uma imprevisibilidade no mercado que dificulta o estabelecimento de estratégias seguras por parte das empresas (ALMEIDA, 2012). Para Bastos *et al.* (2019), “a falta de um histórico de credibilidade das tecnologias intensivas emergentes” é uma das principais causas para a aversão aos riscos detectada nas indústrias químicas nacionais.

A criação de uma rede institucional de parcerias, por sua vez, foi identificada por meio da análise categorial como uma possível estratégia para atrair investimentos e promover a solução das limitações tecnológicas descritas. Isto porque a associação entre universidades, centros de pesquisa, empresas e instituições permite o compartilhamento de riscos, redução de custos e transferência de competências e informações entre os setores, viabilizando o atendimento das atuais demandas do mercado e a difusão de tecnologias sustentáveis pelas indústrias químicas nacionais (CGEE, 2010; CRUZ *et al.*, 2014; MOREIRA, 2019; TREPTOW *et al.*, 2019). Entretanto, o que é identificado no Brasil é uma limitada interação entre universidade e indústria, com a inexistência de sinergia entre os atores envolvidos no processo de inovação (CGEE, 2010; MOREIRA, 2019).

Na área de Viabilidade Econômica, a variável Baixa Percepção de Benefícios Econômicos também contribui para a reduzida taxa de investimentos em PD&I, além de limitar a assimilação, por parte das empresas, de processos de P+L convencionais. Embora essas medidas impliquem em contribuições significativas para as corporações, com a redução de custos e o aumento de produtividade, há pouca quantificação mensurável a respeito dos efeitos dessas práticas no lucro das empresas (RAMOS, 2013; SOUZA; MIRANDA, 2013; UNEP, 2013). A baixa percepção dos benefícios econômicos, pode estar, portanto, associada à uma postura reativa das empresas com relação à implementação de práticas sustentáveis, indicando um estágio inicial na evolução da gestão ambiental dentro dessas empresas. A principal causa desse fenômeno parece ser a manifestação a longo prazo dos benefícios econômicos relatados (como o desenvolvimento futuro de novas áreas de atuação no mercado, ou mesmo a redução de absenteísmo, aumentando a produtividade), que muitas vezes não estão ao alcance de percepção de uma parcela das indústrias químicas (CRUZ *et al.*, 2014; DE MENEZES *et al.*, 2011; SPIEGEL; SCHELLERER, 2014; UNEP, 2013; VIGARIO, 2013).

A Baixa Competitividade no Mercado, por sua vez, embora esteja restrita a certos segmentos específicos da indústria química, como a produção de cosméticos orgânicos e de biocombustíveis de 1ª geração, também foi identificada como uma limitação ao desenvolvimento de mercados mais sustentáveis nas indústrias químicas (ALMEIDA, 2012; GOMES *et al.*, 2018). A baixa produtividade, baixa disponibilidade de matérias-primas e elevado custo de produção, que é repassado aos compradores, são mencionados como os desafios mais significativos para esse desenvolvimento, estando intimamente relacionados às limitações tecnológicas já descritas (CRUZ *et al.*, 2014; DE MENEZES *et al.*, 2011; VIGARIO, 2013).

A área de Logística engloba os desafios operacionais identificados. Nessa área, dois tópicos foram destacados: Associação entre Setores da Cadeia Produtiva e Intercâmbio de Dados e Conhecimentos. Ambos os tópicos estão associados ao caráter descentralizado exigido para a avaliação e mitigação dos impactos existentes ao longo do Ciclo de Vida dos produtos da indústria química (CARIOCA *et al.*, 2012; VIGARIO, 2013). Nesse sentido, no tópico Associação entre Setores da Cadeia Produtiva a literatura analisada ressalta a necessidade de cooperação entre os atores da cadeia produtiva da indústria química para a elaboração de estratégias integradas de sustentabilidade (BORELLI, 2014; SHIBAO *et al.*, 2013; UNEP, 2019), ou para o desenvolvimento de modelos de negócio mais sustentáveis, como os parques químicos e a própria bioindústria (através da integração entre o agronegócio e a indústria química) (BASTOS *et al.*, 2019; CGEE, 2010; RAMOS, 2013).

Foi detectada também, no tópico Intercâmbio de Dados e Conhecimentos, a existência de lacunas de dados e informações entre esses mesmos atores da cadeia produtiva, inviabilizando a comunicação entre eles e, portanto, a elaboração de planos de ação mais eficazes e abrangentes (UNEP, 2013; UNEP, 2019). Nesse sentido, de acordo com o relatório *Global Chemicals Outlook II*, da UNEP (2019):

Enquanto a indústria química precisa implementar uma comunicação efetiva e intercâmbio de informações com seus fornecedores, ela também precisa se engajar com parceiros localizados no fim de sua cadeia de valor para garantir que a informação de segurança química seja apropriadamente comunicada e que as substâncias químicas sejam utilizadas da forma pretendida (tradução nossa).

A categoria Atuação do Setor Público, por sua vez, engloba os fragmentos associados à participação negativa ou positiva do Estado na implementação de práticas sustentáveis pela indústria química. A subcategoria Aperfeiçoamento Regulatório, por exemplo, compreende as supostas deficiências encontradas no marco regulatório nacional e, portanto, a necessidade de aperfeiçoamento do mesmo. Nesse sentido, pode-se citar o excesso de burocracia envolvida na adoção de novos processos produtivos, o que acarreta conseqüentemente em maiores custos de produção (SOUZA; MIRANDA, 2013; PEREIRA, SILVA, 2013); a complexidade e variedade de instrumentos regulatórios presentes nos três níveis da Federação (CNI, 2017); e a ausência de mecanismos normativos que aprofundem a segurança jurídica na avaliação de riscos dos produtos da indústria química (UNEP, 2019).

Em contrapartida, na subcategoria Políticas Públicas de Incentivo, é ressaltada a importância estratégica da atuação do poder público para a resolução de muitos dos aspectos problemáticos anteriormente citados (CARIOCA *et al.*, 2012; CGEE, 2010; PEREIRA; SILVA, 2014). Nesse sentido, é destacada a possibilidade de estímulo a investimentos na área de PD&I; criação de redes de parceria; implementação de projetos de integração entre diferentes setores da cadeia produtiva; incentivos fiscais ou programas de financiamento para possibilitar a viabilidade econômica das práticas e processos mais limpos, etc. A bibliografia analisada, entretanto, também apresenta ressalvas à implementação de políticas públicas, dado o histórico de fracassos verificado em casos passados (CGEE, 2010, p. 413), e dada a possibilidade dessas políticas desenvolverem efeitos inesperados que podem, em última instância, incentivar, ao invés de inibir, o uso de substâncias perigosas e de práticas poluentes nos setores associados à indústria química (UNEP, 2019).

Igualmente estratégica, por influenciar direta ou indiretamente todos os pontos anteriormente abordados, é a categoria Conscientização, que engloba os desafios associados à disseminação dos conceitos de Desenvolvimento Sustentável da indústria química pelo campo cultural. Nessa área, diante da necessidade de formação de recursos humanos qualificados para atuar nos campos em desenvolvimento da Química Verde, a subcategoria Educação assume peso considerável, condicionando a formação não só de futuros profissionais, como também de cidadãos (CGEE, 2010; FARIAS; FÁVARO, 2011; UNEP, 2019). Para isso são requisitadas modificações significativas nos currículos tradicionais de ensino de química, possibilitando uma educação transdisciplinar e capaz de integrar os conhecimentos técnicos com as principais preocupações socioambientais da atualidade (EILKS; SJÖSTRÖM; ZUIN, 2017). Nesse sentido, Matlin *et al.* (2015) concluem:

É importante ressaltar que muitas das contribuições que a química pode fazer em relação aos ODS exigem trabalhar em conjunto com outras disciplinas para identificar soluções práticas, acessíveis e sustentáveis. A química não deve ser ensinada ou praticada sem uma consideração embutida dessas relações mais amplas - isto é, a educação e a prática em química devem ser reorientadas de modo a incutir habilidades em abordagens interdisciplinares e transdisciplinares informadas por sistemas de pensamento e pelas preocupações com os princípios de sustentabilidade e responsabilidade (tradução nossa).

A Integração entre Ciência, Mercado e Sociedade é igualmente relevante, principalmente quando se considera o papel da pressão da sociedade e do mercado na influencição das estratégias de sustentabilidade das empresas (BUOGO; ZILLI; VIEIRA, 2016; DIAS; SCHUSTER; DIAS, 2013; WOLFFENBÜTTEL, 2019). A disseminação de conhecimentos científicos entre os *stakeholders*, portanto, parece constituir um elemento essencial para a

divulgação dos possíveis benefícios econômicos a longo prazo das práticas sustentáveis, e para a melhor compreensão dos reais riscos envolvidos no processo de ecoinovação, eliminando e reduzindo as incertezas nessa área (CRUZ *et al.*, 2014; UNEP, 2013). A subsequente divulgação para a sociedade dos avanços e desafios da indústria química, pode por sua vez, diminuir a resistência dos consumidores e clientes, induzindo-os à compra de produtos e insumos mais sustentáveis e algumas vezes mais caros, com isso aumentando a competitividade em mercados emergentes (CRUZ *et al.*, 2014).

CONCLUSÃO

As indústrias químicas desempenham um papel de destaque no atual cenário de complexidades emergentes envolvendo os riscos e impactos das atividades humanas. O contexto atual da poluição química, que vem crescendo no mundo com consequências significativas para o equilíbrio do planeta e bem estar das populações, exemplifica esse cenário, impondo como emergencial a reestruturação de modelos de negócios e a substituição de processos produtivos poluentes por outros considerados mais sustentáveis.

O desenvolvimento de práticas sustentáveis e inovações disruptivas capazes de mitigar ou prevenir os impactos da indústria química, seja em suas atividades seja ao longo do Ciclo de Vida dos seus produtos, assume assim um papel estratégico na garantia de sustentabilidade tanto para as indústrias químicas como para todos os outros setores a elas associados.

A própria complexidade do cenário institucional brasileiro, entretanto, representa um desafio à implementação dessas práticas, inibindo ou limitando o comprometimento do setor empresarial com a promoção de um Desenvolvimento Sustentável. As áreas de PD&I, Viabilidade Econômica, Atuação do Poder Público, Logística e Conscientização, foram identificadas no presente trabalho como as mais significativas na constituição desse cenário institucional problemático.

A complementaridade entre os diversos desafios detectados compõe uma rede de conexões complexa que pode descrever com maior clareza o contexto geral do desenvolvimento da sustentabilidade nas indústrias químicas. Entretanto, por mais que a compreensão dos desafios seja indispensável para a mobilização dos agentes envolvidos, ressalta-se a necessidade de uma maior integração entre estes para a formulação de estratégias tanto pontuais quanto sistêmicas, que garantam a resolução eficiente dos obstáculos detectados em todas as áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACC (2018). *Elements of the business of chemistry*. Disponível em: <https://www.americanchemistry.com/2018-Elements-of-the-Business-of-Chemistry.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2019.

ALMEIDA, M.F.L. de. Química Verde: desafios para o desenvolvimento sustentável. **Parcerias Estratégicas**, v. 17, n. 35, p. 113-166, 2012.

ANASTAS, P.T.; WARNER, J.C. *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press, 1998, 135 p.

BASTOS, J.B.V.; COUTINHO, P.L. de A.; ALIJÓ, P.H.R.; GOULART, A.K. Intensificação de processos e química verde: importância para as indústrias farmacêutica, cosméticos, alimentícia e biorrefinarias. **Revista Fitos**, v. 13, n. 1, p. 74-93, 2019.

BORELLI, E. Sustentabilidade e riscos ambientais na indústria química. *In: CICLO DE DEBATES EM ECONOMIA INDUSTRIAL, TRABALHO E TECNOLOGIA*, 9., 2011, São Paulo. **Anais do IX Ciclo de Debates em Economia Industrial, Trabalho e Tecnologia**. São Paulo: PUC, 2011.

CARIOCA, J.O.B.; SEIDL, P.; SOUSA-AGUIAR, E.F.; ALMEIDA, M.F.L. Química Verde no Brasil: visão de futuro e estratégia nacional para o período 2010-2030. **Parcerias Estratégicas**, v. 15, n. 30, p. 311-338, 2012.

CGEE. **Química verde no Brasil: 2010-2030** - Ed. rev. e atual. - Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010, 438 p.

CNI. **A química como criadora de soluções para o desenvolvimento sustentável**. Confederação Nacional da Indústria, Associação Brasileira da Indústria Química – Brasília: CNI, 2017, 110 p.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Relatório Brundtland: Nosso futuro comum**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, [1987] 1992, 383 p.

CRUZ, A.C.; PEREIRA, F. dos S.; COSTA, L.M. da; SILVA, M.F.O e. Química Verde na Ótica dos Agentes de Mercado. Rio de Janeiro: **BNDES Setorial**, n.39, p. 5-54, 2014.

DEMAJOROVIC, J. A Indústria química, a sociedade de risco e a responsabilidade socioambiental. *In: DEMAJOROVIC, J.; Sociedade de risco e responsabilidade socioambiental: perspectivas para a educação corporativa*. São Paulo: USP, cap. 3, p. 81-152, 2000.

DE MENEZES, U.G.; KNEIPP, J.M.; BARBIERI, L.A.; GOMES, C.M. Gestão da inovação para o desenvolvimento sustentável: comportamento e reflexões sobre a indústria química. **RAI Revista de Administração e Inovação**, v. 8, n. 4, p. 88-116, 2011.

DIAS, V. da V.; SCHUSTER, M. da S.; DIAS, R.R. Orientação da gestão sustentável de uma empresa química com atividade internacional. *Internext*, v. 8, n. 1, p. 68-87, 2013.

EILKS, I.; SJÖSTRÖM, J.; ZUIN, V. *The responsibility of Chemists for a better world: challenges and potentialities beyond the lab*. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v. 12, n. 1, 2017.

ESSEL, R.; ENGEL, L.; CARUS, M.; HEINRICH AHRENS, R. *Sources of Microplastics Relevant to Marine Protection in Germany*. Werner, S. (ed.). DessauRoßlau: *German Environment Agency*, 2015, 48 p.

FARIAS, L. A.; FÁVARO, D.I.T. Vinte anos de química verde: conquistas e desafios. **Química Nova**, v. 34, n. 6, p. 1089-1093, 2011.

FERREIRA, V.F.; DA ROCHA, D.R.; DA SILVA, F.C. Química verde, economia sustentável e qualidade de vida. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 1, p. 85-111, 2013.

FIOCRUZ (2019). Mapa De Conflitos Envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil. Disponível em:

http://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/?atv_gerad=industria-quimica-e-do-petroleo&post_tipes=conflito. Acesso em: 26 mai. 2019.

FREITAS, G.P.; SILVA, K.A.; SÁ, G.B.; RODRIGUES SEGUNDO, S.T.L.; DANTAS, M.K.L. Identificação de impactos ambientais em empreendimento ou atividade de indústria química. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 5, p. 66 - 70, 2015.

GARCIA, L.G.A.; NETTO, C.C.; MIRAGLIA, S.G.E.K. *Sustainability in the Chemical Industry in Brazil*. **Sustainable Business International Journal**, v. 1, n. 62, p. 1 - 31, 2016.

GOMES, R.N.; LIMA, P.S.; KURIYAMA, S.N.; NETO, A.A.F. Desenvolvimento da química verde no cenário industrial brasileiro. Edição especial. **Revista Fitos**, p.80-89, 2018.

KIPERSTOK, A.; COELHO, A.; TORRES, E.A.; MEIRA, C.C.; BRADLEY, S.P. *et al*. **Prevenção da Poluição**. Brasília: SENAI/DN, 2002, 290 p.

MATLIN, S.A.; MEHTA, G.; HOPF, H.; KRIEF, A. *The role of chemistry in inventing a sustainable future*. **Nature chemistry**, v. 7, n. 12, p. 941 - 943, 2015.

MOREIRA, L. F. **Do campo para a indústria química: oportunidades para o Brasil na bioeconomia mundial**. 2019. 129 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2019.

NETO, A.C. **A Química Verde e o Papel da Catálise no Contexto da Inovação e do Desenvolvimento Tecnológico Sustentável**. 2010. 141 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PEREIRA, F. dos S.; SILVA, M.F. de O. e. Panorama setorial 2015-2018: indústria química. *In: BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (Brasil). Perspectivas do investimento 2015-2018 e panoramas setoriais*. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2014. p. 109-119.

RAMOS, D.P. **Ecoparques empresariais e vantagem competitiva: um estudo sobre o Polo Verde Tecnológico do Rio de Janeiro**. 2013. 130 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2013.

SHIBAO, F.Y.; MOORI, R.G.; SANTOS, M.R. dos; OLIVEIRA NETO, G.C. de. A cadeia de suprimentos verde e as indústrias químicas no Brasil. *In: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO–SEMEAD*, 16., 2013, São Paulo. **Anais do XVI SEMEAD**. São Paulo: FEA/USP, 2013.

SOUZA, R.O.M.A; MIRANDA, L.S.M. Reações sob fluxo contínuo: da química verde a um processo verde. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 1, p. 34-43, 2013.

SPIEGEL, F.; SCHELLERER, K-M. *Hidden Markets in the Chemical Industry-Illusion or Growth Opportunity?* **Journal of Business Chemistry**, v. 11, n. 1, p. 3 - 13, 2014.

TREPTOW, I.C.; MACHADO, P.R.S.; KNEIPP, J.M.; SILUK, J.C.M. Estágios para a Inovação Sustentável em Empresas de Diferentes Portes do Setor Químico. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 4, n. 2, p. 191-216, 2019.

UNEP. *Costs of Inaction on the Sound Management of Chemicals*. *United Nations Environment Programme*, 2013, 88 p.

UNEP. *Global Chemicals Outlook II: From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations Environment Programme, 2019, 700 p.

VIGÁRIO, B. *Incorporating sustainability into a chemical company's modus operandi*. 2013. 416 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2013.

WHO. **O impacto de substâncias químicas sobre a saúde pública: Fatores conhecidos e desconhecidos**. Brasília, DF: Organização Pan-Americana da Saúde, 2018, 16 p.

WISNIEWSKI, M.L.G.; BOLLMANN, H.A. A responsabilidade socioambiental no contexto das relações entre Mercado, Estado e Sociedade: contribuições da Constituição Brasileira de 1988. **REDES: Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 17, n. 1, p. 115-140, 2012.

WOLFFENBÜTTEL, R.F. Representações e práticas empresariais sobre sustentabilidade, o caso do plástico verde. **Novos Rumos Sociológicos**, v. 6, n. 10, p. 202-233, 2019.

ZAMBANINI, M.E.; BRESCIANI, L.P.; PEREIRA, R. da S.; SOUZA, D.A. de.; ORTEGA, G. Sustentabilidade e Inovação: Um Estudo Sobre o Plástico Verde. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 7, n. 2, 2013.

ZHANG, X.; ZHONG, T.; LIU, L.; OUYANG, X. *Impact of Soil Heavy Metal Pollution on Food Safety in China*. **PLoS ONE**, v. 10, n. 8, 2015.