

**REGULANDO O FUTURO:
CONTRIBUIÇÕES DA ANÁLISE ECONÔMICA DO DIREITO SOBRE A
RESPONSABILIDADE CIVIL DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS**

**REGULATING THE FUTURE:
CONTRIBUTIONS FROM THE ECONOMIC ANALYSIS OF LAW ON LIABILITY
FOR AUTONOMOUS VEHICLES**

FELIPE COELHO SIGRIST¹

288

RESUMO: Este artigo analisa a responsabilidade civil aplicada a veículos autônomos (VAs) sob a ótica da Análise Econômica do Direito (AED). A partir do avanço da inteligência artificial e de seu impacto crescente em diversos setores, especialmente no transporte, emergem novos desafios regulatórios, entre eles a definição de responsabilidades em casos de acidentes envolvendo VAs. Embora iniciativas legislativas sobre inteligência artificial já estejam em curso no Brasil, a discussão sobre veículos autônomos ainda carece de aprofundamento teórico no contexto nacional, sobretudo no uso da AED como ferramenta de análise. Sendo assim, o artigo tem como objetivo apresentar e sistematizar os principais regimes de responsabilidade civil propostos na literatura de AED, buscando adaptá-los à realidade jurídica brasileira. Para isso, foram consultados artigos disponíveis em bases nacionais e internacionais que, além de desenvolverem modelos teóricos (inclusive com formulações matemáticas), propõem arranjos normativos concretos para lidar com os desafios da responsabilidade civil aplicada a VAs.

PALAVRAS-CHAVE: Responsabilidade civil; Veículos autônomos; Análise Econômica do Direito; Inteligência artificial.

ABSTRACT: This article analyzes liability rules applied to autonomous vehicles (AVs) from the perspective of Economic Analysis of Law. With the advancement of artificial intelligence and its growing impact across various sectors, especially in transportation, new regulatory challenges arise, including the attribution of liability in accidents involving AVs. Although legislative initiatives concerning artificial intelligence are already underway in Brazil, the discussion around autonomous vehicles still lacks theoretical depth in the national context, particularly regarding the use of Economic Analysis of Law as an analytical tool. Accordingly, this article aims to present and systematize the main liability regimes

¹ Doutor e Mestre em Economia pela Universidade Federal de Santa Catarina. Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente realiza estágio de pós-doutorado em Economia na Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz" (Esalq/USP).



proposed in the Economic Analysis of Law literature, through an international literature review on the topic, seeking to adapt them to the Brazilian legal context. For this purpose, academic articles available in both national and international databases were consulted, with priority given to those that, in addition to developing theoretical models (including mathematical formulations), propose concrete normative arrangements to address the challenges of civil liability applied to AVs.

KEYWORDS: Liability; Autonomous vehicles; Law and Economics; Artificial intelligence.

INTRODUÇÃO

A inteligência artificial tem ganhado espaço em diferentes áreas da sociedade, sendo aplicada em setores como saúde, segurança, transporte, educação e administração pública. O desenvolvimento e a incorporação de sistemas inteligentes em processos decisórios têm provocado debates sobre responsabilidade, autonomia tecnológica e os limites da intervenção humana. Diante do avanço dessas tecnologias, cresce a preocupação com a necessidade de marcos regulatórios capazes de equilibrar os benefícios esperados com os riscos envolvidos em sua aplicação. No Brasil, essa discussão ainda é recente, mas já conta com iniciativas legislativas que buscam orientar o uso da IA de forma ética e juridicamente segura.

Conforme descrevem Barros e Rabelo (2021), o debate sobre a regulamentação da inteligência artificial no Brasil teve início com o Projeto de Lei n.^º 5.051/2019, apresentado no Senado Federal em 16 de setembro daquele ano. Esse projeto buscava estabelecer os princípios e diretrizes para o uso responsável da IA, com o objetivo de conciliar o avanço tecnológico com a mitigação de riscos associados à sua aplicação. A proposta destaca a importância da inovação e da tecnologia, enquadrando a temática no âmbito da competência comum definida pela Constituição. Posteriormente, também no Senado, foi apresentado o PL n.^º 5.691/2019, que propõe a criação da Política Nacional de Inteligência Artificial (PNIA), orientada por valores fundamentais como a dignidade humana, a liberdade, a pluralidade, a diversidade, a igualdade, a transparência, a confiabilidade, a capacidade de auditoria, a supervisão humana e a preservação da democracia.

Entre as aplicações mais emblemáticas da inteligência artificial, destacam-se os veículos autônomos (VA), que representam uma das inovações com maior potencial de transformar a mobilidade urbana, reduzir acidentes e otimizar o uso de recursos. No entanto, ao mesmo tempo em que prometem benefícios relevantes, os VAs levantam questões jurídicas complexas, especialmente no tocante à atribuição de responsabilidade em casos de acidentes. A incerteza sobre quem deve

arcar com os danos, seja o fabricante, o proprietário, o programador ou o próprio sistema, exige uma análise que vá além das abordagens jurídicas tradicionais.

Devido à relevância e complexidade dessa temática, alguns autores já vêm discutindo aspectos legais sobre a regulação dos VAs. Pinheiro, Borges e Mello (2019) realizaram um trabalho relevante ao discutir as responsabilidades aplicáveis a fabricantes e vendedores de veículos autônomos dentro do ordenamento jurídico brasileiro, enquanto Carlini (2022) aborda o possível uso de seguros obrigatórios para os fabricantes desses veículos durante o período de desenvolvimento tecnológico, com o objetivo de resguardar os consumidores.

O presente artigo contribui para o debate sobre responsabilidade civil de veículos autônomos por meio da literatura da Análise Econômica do Direito (AED). O estudo da responsabilidade civil sob essa perspectiva teve início na década de 1970, com os trabalhos pioneiros de Calabresi e Melamed (1972), que examinaram em quais circunstâncias regras de propriedade ou de responsabilidade se mostram mais eficientes para a proteção de direitos (“*entitlements*”); e Brown (1973) que analisou, através de modelos econômicos, diferentes regimes de responsabilidade civil e os níveis ótimos de cuidado. No contexto jurídico brasileiro, o uso da análise econômica para o estudo da responsabilidade civil é relativamente recente (SZTAJN, 1998; PIMENTA; LANA, 2010), sobretudo porque a literatura original de AED se desenvolveu em países que adotam o sistema da *common law*.

O objetivo principal deste artigo é apresentar e sistematizar as principais discussões sobre a regulação de veículos autônomos presentes na literatura de AED. A importância da análise aqui desenvolvida pode ser destacada em dois pontos. Primeiro, embora o uso da Análise Econômica do Direito (AED) na discussão sobre regimes de responsabilidade civil aplicáveis a veículos autônomos (VAs) venha crescendo na literatura internacional (ABRAHAM; RABIN, 2019; DE CHIARA et al., 2021; DI; CHEN; TALLEY, 2020; GUERRA; PARISI; PI, 2022; KIM, 2023; SHAVELL, 2020; TALLEY, 2019), essa abordagem ainda não foi incorporada de forma sistemática pela literatura jurídica brasileira. Autores como Carlini (2022) e Pinheiro, Borges e Mello (2019) analisaram o tema sob a ótica do direito nacional, mas sem recorrer expressamente ao instrumental da AED. Nesse sentido, este trabalho busca preencher essa lacuna ao aplicar os fundamentos da Análise Econômica do Direito à avaliação dos modelos de responsabilidade civil para veículos autônomos no Brasil, considerando as especificidades do ordenamento jurídico e do mercado nacional. Como mencionado, a maioria das publicações que utilizam a AED como método provém de países que adotam a *common law*, o que torna necessário o esforço de adaptar essas discussões ao contexto jurídico brasileiro. Segundo, muitos dos artigos analisados partem de modelos teóricos com formulações matemáticas, o que pode dificultar a compreensão por parte de leitores não familiarizados com esse tipo de abordagem. Assim, busca-se aqui apresentar as hipóteses e implicações desses modelos de forma discursiva e acessível.

Para isso, foram consultados artigos disponíveis em bases nacionais e internacionais que, além de desenvolverem modelos teóricos (inclusive com formulações matemáticas), propõem arranjos normativos concretos para lidar com os desafios da responsabilidade civil aplicada a VAs. O critério de seleção privilegiou trabalhos com contribuições aplicáveis ao desenho de regimes jurídicos, e não apenas discussões abstratas ou modelagens sem implicações normativas.

O artigo está organizado em seis seções, incluindo esta Introdução. Na segunda seção, Fundamentos teóricos, apresento de forma sintética o conceito e a evolução tecnológica dos VAs. A terceira seção contém os principais aspectos teóricos sobre AED aplicada à responsabilidade civil de VAs. Na quarta seção são apresentadas as principais propostas de regimes de responsabilidade civil presentes na literatura de AED. Na quinta seção é feito um esforço de aproximação dessa literatura, fundamentalmente pensada ao contexto da *common law*, para o contexto jurídico brasileiro. E por fim, na última seção são feitas algumas considerações finais.

2. BASES CONCEITUAIS E JURÍDICAS PARA O ESTUDO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS

2.1. CONCEITO E EVOLUÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Um veículo, ou de maneira mais geral, um robô, é considerado autônomo quando, dentro de parâmetros de programação previamente definidos, é capaz de determinar o curso dos acontecimentos em face dos dados que capta. Isso significa que ele pode tomar decisões sem intervenção humana direta, processando informações do ambiente por meio de sensores, câmeras e algoritmos de inteligência artificial (PINHEIRO; BORGES; MELLO, 2019, p. 252). No caso dos veículos autônomos, essa capacidade se traduz na habilidade de dirigir, frear, acelerar, mudar de faixa e até tomar decisões complexas em situações imprevistas, como desviar de obstáculos ou reagir a comportamentos inesperados de outros motoristas.

A evolução tecnológica dos VAs tem sido marcada por avanços significativos em áreas como sensoriamento, processamento de dados, conectividade e inteligência artificial. Inicialmente restritos a experimentos acadêmicos e protótipos laboratoriais, os VAs passaram a incorporar sistemas cada vez mais sofisticados, como radares, câmeras de alta resolução, sensores e softwares de tomada de decisão em tempo real. Paralelamente, melhorias em infraestrutura digital e redes de comunicação, como o 5G, possibilitaram uma maior integração entre veículos e ambiente urbano, permitindo o desenvolvimento gradual de funções automatizadas de direção.

Mesmo que veículos completamente autônomos ainda sejam uma realidade um pouco distante, muitos dos avanços tecnológicos citados acima já foram incorporados aos veículos atualmente comercializados. Isto ocorre, pois o processo de avanço tecnológico não é binário, isto é, um veículo totalmente dependente do condutor ou completamente autônomo, e as novidades tecnológicas são gradualmente incorporadas. Para tornar mais claro esse escalonamento



tecnológico, a Sociedade de Engenheiros Automotivos, *SAE International*, criou níveis de classificação de veículos autônomos que vão de nível 0, veículos que não possuem nenhuma capacidade de autonomia, a nível 5, veículos integralmente independentes de condução.

Segundo a classificação da SAE, um VA é considerado de nível 0, quando a direção depende integralmente do motorista, embora tenha equipamentos que alertam o condutor; nível 1, quando o veículo é capaz de fazer algumas funções, mas as principais dependem do motorista; nível 2, quando o veículo já tem automação para acelerar, frear e se manter dentro de faixas de rodagem, mas o motorista deve permanecer atento o tempo todo para assumir de imediato a direção em situações de emergência; nível 3, quando o sistema de autonomia do veículo o torna capaz de guiar efetivamente sozinho em certas condições de tráfego; porém o condutor deve se manter atento para assumir o controle do veículo quando solicitado; nível 4, quando o sistema assume praticamente todas as funções do condutor, mas podendo solicitar ao motorista que assuma o controle em situações mais difíceis de dirigibilidade, como exemplo, circunstâncias climáticas adversas; e, nível 5, quando o veículo dispensará totalmente a participação do motorista, como também dispensará comandos manuais. O motorista dará ordens por sistema de voz (CARLINI, 2022, p. 86).

2.2. RESPONSABILIDADE CIVIL NO CONTEXTO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Alguns acidentes com veículos autônomos já foram registrados, e os estudos apontam que estes resultaram, preponderantemente, de dois fatores: falta de ação humana, quando esta seria recomendável e até exigível; e falha de programação dos algoritmos (CARLINI, 2022). Esses incidentes colocam em evidência uma série de questões jurídicas e éticas sobre a responsabilidade por danos causados por sistemas autônomos. Quando sistemas e robôs comandados por inteligência artificial tomam decisões e, em razão delas, causam danos a terceiros, evidencia-se a necessidade de se analisar qual sistema de responsabilidade civil deverá ser aplicado, bem como determinar o responsável pela reparação. A discussão ganha contornos ainda mais complexos diante da crescente autonomia dessas tecnologias, que desafiam modelos tradicionais de imputação de culpa, muitas vezes baseados em ações humanas diretas.

Em especial, surgem dúvidas sobre quem deve responder pelos riscos que, à época do lançamento da tecnologia, não eram conhecidos nem previsíveis, dadas as limitações do estado da arte da ciência. Assim, para riscos que não eram conhecidos nem possíveis de serem conhecidos em razão do estado da arte da ciência no momento em que foram colocados no mercado de consumo, a principal pergunta é quem deverá assumir a responsabilidade nessas circunstâncias. Entre os principais candidatos à responsabilização estão os fabricantes dos veículos ou de seus componentes, os desenvolvedores de software, os fornecedores de dados e algoritmos, os operadores humanos (quando houver) e, em última instância, o



próprio Estado. A escolha de qual agente deve responder por esses danos não é trivial: envolve não apenas critérios de justiça compensatória, mas também considerações sobre incentivos à segurança, viabilidade econômica e capacidade de especificação dos riscos. A possibilidade de responsabilização, de um lado, poderá incentivar o desenvolvimento de bens e tecnologias mais seguros, claros e eficientes, mas, de outro, poderá impactar negativamente as taxas de desenvolvimento de inovação e a adoção de novos negócios e tecnologias (TEFFÉ; MEDON, 2020). Nesse contexto, o equilíbrio entre proteção ao consumidor e estímulo à inovação torna-se um dos principais desafios regulatórios da era dos veículos autônomos.

Com base no ordenamento jurídico brasileiro, a responsabilidade civil pode seguir duas vertentes, subjetiva e objetiva. A responsabilidade civil subjetiva configura-se como a modalidade tradicional de responsabilização no direito civil, na qual a obrigação de reparar o dano depende da comprovação da culpa ou dolo do agente causador. Sob essa perspectiva, é imprescindível demonstrar que o agente agiu com negligência, imprudência ou má-fé, ou seja, que houve uma conduta voluntária ou culposa que deu origem ao prejuízo. Além da existência do dano e do nexo causal, a subjetividade reside na necessidade de provar a imputabilidade da conduta danosa, estabelecendo assim um vínculo direto entre a ação ou omissão e a responsabilidade reparatória (MILHOMEM; MORREIRA, 2025, p. 1009). A responsabilidade subjetiva é amplamente utilizada em casos de acidentes de trânsito. Para sua aplicação, é necessário demonstrar a culpa do motorista, o que pode ser feito por meio de evidências como boletins de ocorrência, testemunhos e laudos periciais. No âmbito do trânsito, o princípio da confiança é fundamental, exigindo que os condutores ajam de maneira previsível e respeitem as regras vigentes. Caso essa confiança seja violada, presume-se a culpa do responsável.

A responsabilidade civil objetiva, por sua vez, constitui um instituto fundamental do direito civil, caracterizado pela imposição da obrigação de indenizar danos causados a terceiros, independentemente da demonstração de culpa ou dolo por parte do agente responsável. Dessa forma, não se exige a comprovação de condutas culposas, como negligência, imprudência ou má-fé; é suficiente a ocorrência do dano e a existência do nexo causal entre a ação ou omissão do agente e o prejuízo sofrido. Tal modalidade de responsabilidade fundamenta-se no princípio do risco, que determina que aquele que exerce atividade potencialmente lesiva a terceiros deve responder pelos danos dela decorrentes, ainda que tenha adotado todas as medidas de precaução possíveis para evitá-los (MILHOMEM; MORREIRA, 2025, p. 1011).

Nesse contexto, a responsabilidade civil objetiva mostra-se mais adequada para lidar com incidentes envolvendo veículos autônomos de níveis 4 e 5, nos quais a condução é inteiramente realizada por sistemas de inteligência artificial. Como nesses casos não há atuação humana direta durante a operação do veículo, torna-

se inviável analisar a conduta sob os critérios tradicionais de culpa. Assim, a responsabilização desloca-se do comportamento do condutor para o risco inerente à atividade automatizada, atribuindo a responsabilidade aos desenvolvedores, fabricantes ou operadores da tecnologia envolvida.

Analizando especificamente a questão da responsabilidade civil em acidentes de trânsito, três elementos destacam-se como essenciais para a atribuição da responsabilidade nestes cenários: ação ou omissão, dano e nexo causal. A conduta, seja por ação ou omissão, constitui o primeiro elemento da responsabilidade civil, refletindo o comportamento do agente que leva à ocorrência do dano. No contexto dos acidentes de trânsito, são exemplos típicos de ações culposas dirigir em alta velocidade, desrespeitar o sinal vermelho ou conduzir sob influência de álcool. Já a omissão se caracteriza pela inação diante de um dever legal ou contratual de agir, como deixar de prestar socorro à vítima ou não realizar a manutenção adequada do veículo (MILHOMEM; MOREIRA, 2025, p. 1005). O dano é um requisito fundamental para a configuração da responsabilidade civil e para o surgimento do dever de indenizar. Ele pode se apresentar de forma material, como nos casos de prejuízos à integridade do veículo ou em gastos com tratamento médico; moral, quando atinge aspectos subjetivos da vítima, como dor, sofrimento, angústia ou luto; e estético, quando provoca alterações físicas permanentes, tais como cicatrizes, sequelas, deformidades ou outras marcas que comprometam a aparência ou a funcionalidade do corpo, gerando desconforto ou insatisfação. Em acidentes de trânsito, a reparação deve ser plena, abrangendo todos os danos efetivamente suportados pela vítima (MILHOMEM; MOREIRA, 2025, p. 1006). Por fim, o nexo de causalidade representa o elo indispensável entre a conduta do agente e o dano experimentado pela vítima. Para delimitar esse vínculo, a teoria da causalidade adequada é amplamente empregada no campo da responsabilidade civil. Essa doutrina sustenta que nem todos os fatos anteriores ao evento danoso possuem relevância jurídica para fins de responsabilização. O critério utilizado baseia-se na previsibilidade e na adequação do comportamento do agente dentro do curso normal dos acontecimentos, ou seja, avalia-se se era plausível supor que a ação ou omissão adotada pudesse conduzir ao prejuízo. Com isso, excluem-se da análise causal os eventos excepcionais e as interferências externas imprevisíveis, como catástrofes naturais ou ações de terceiros totalmente desvinculados da conduta inicial. Ao adotar essa perspectiva, busca-se um equilíbrio entre a necessidade de proteger a vítima e a limitação razoável da responsabilidade do agente, evitando tanto a imposição exagerada do dever de indenizar quanto a negligência em reconhecer os direitos de quem foi lesado (MILHOMEM; MOREIRA, 2025, p. 1006).

É importante ressaltar que a responsabilidade deve considerar todos os agentes da cadeia de desenvolvimento e uso de um veículo (autônomo ou tradicional), sendo estes fabricantes, desenvolvedores, usuários e operadores. A responsabilidade dos fabricantes refere-se a qualquer acidente cuja causa decorra de defeitos mecânicos no veículo. A responsabilidade dos desenvolvedores é



atribuída a qualquer acidente causado por mau funcionamento do *software* responsável pela autonomia do veículo. Ambos os agentes podem ser responsabilizados com base na responsabilidade objetiva, em particular caracterizada como responsabilidade por produto defeituoso e, portanto, regida pelas normas do Código de Defesa do Consumidor (CDC) e do Código Civil. A responsabilidade dos usuários refere-se ao entendimento mais comum de acidente de trânsito, decorrente de algum ato de negligência por parte dos condutores. Por último, há a responsabilidade dos operadores, que também pode decorrer de atos de negligência. Um caso ilustrativo, por exemplo, seria o de uma empresa que presta serviços de transporte utilizando veículos autônomos: se um desses veículos causar um acidente, a empresa poderá ser responsabilizada, desde que fique comprovado que o veículo não estava em plenas condições de operação.

Analisando individualmente cada um dos três elementos que fundamentam a responsabilidade civil em acidentes de trânsito, percebe-se que a existência dano, para qualquer uma das partes envolvidas em um acidente, continuará sendo essencial para que a responsabilidade seja imputada, mesmo quando os VAs alcançarem os níveis mais elevados de autonomia, pois não é necessário identificar o responsável em um acidente quando não há o que ser reparado. Os demais elementos representam desafios mais complexos em se tratando da transição de veículos tradicionais para autônomos. Conforme argumentam Guerra, Parisi e Pi (2022), o conceito de negligência, presente no elemento de ação ou omissão, não pode ser aplicado de forma significativa aos VAs. Veículos autônomos não exercem cuidado precaucional, mas executam mecanicamente um algoritmo. Assim, a probabilidade de um acidente causado por erro da máquina não decorre do “nível de cuidado” do VA, mas está ligada à qualidade do algoritmo, que, por sua vez, depende do investimento em pesquisa feito pelo fabricante. O investimento em pesquisa para o desenvolvimento de robôs mais seguros funciona como uma forma de precaução durável: uma vez que uma tecnologia mais segura é desenvolvida, não há risco significativo de que ela seja “esquecida” posteriormente. Quanto ao nexo causal, a questão primordial será determinar se os fatos que levaram ao acidente poderiam ser antecipados pelo algoritmo que conduz o veículo. A discussão torna-se mais complexa quando se leva em consideração a heterogeneidade nos algoritmos dos diferentes veículos que estarão em circulação. Conforme é discutido na seção seguinte, a capacidade preditiva e responsiva do algoritmo é diretamente relacionada a seu nível de tecnologia. Da mesma forma que já acontece com os veículos tradicionais, esses modelos serão comercializados conforme suas características, como potência do motor, eficiência, conforto e capacidade algorítmica. Assim, é possível que um acidente ocorra porque determinado veículo tenha menor capacidade de resposta, o que pode afetar outros que, na mesma situação, conseguiram evitá-lo.

3. ANÁLISE ECONÔMICA DA RESPONSABILIDADE CIVIL DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Sob a perspectiva da análise econômica, a atribuição de responsabilidade civil tem como objetivo alcançar o maior nível de eficiência social. No contexto de acidentes de trânsito, a eficiência social deve ser entendida como a relação entre o dano causado por acidentes e o nível de utilização dos veículos (SHAVELL, 2020). Para ilustrar esta relação, suponha que o governo estabeleça um limite de quilometragem que cada veículo possa percorrer mensalmente. A redução na quantidade de veículos trafegando nas vias públicas certamente fará com que a quantidade de acidentes reduza, contudo os motoristas desejariam utilizar mais seus veículos. Além das distâncias percorridas pelos veículos, a forma de condução dos veículos também entra na concepção de nível de utilização. Por exemplo, se uma nova lei proibir veículos de trafegarem em rodovias em velocidades acima de 40 km/h, novamente é de se esperar uma redução na quantidade de acidentes de trânsito, pois, ao trafegar em uma velocidade reduzida, os motoristas possuem um maior controle sobre os seus veículos e, portanto, são capazes de evitar mais situações de potenciais colisões. Contudo, ter todos os veículos trafegando a menos de 40 km/h também gera impactos negativos, pois tudo que é transportado por estes veículos (pessoas e mercadorias) demorará mais tempo para chegar a seus destinos.

Existe uma relação direta entre o dano causado em um acidente e os fabricantes dos veículos envolvidos. Essa relação se expressa pelo nível de segurança, ou de forma mais geral, pela tecnologia presente nos veículos. Um veículo que possui *airbags*, por exemplo, causará menos danos aos passageiros acidentados em comparação a um veículo sem essa tecnologia. A presença de mais tecnologia (segurança) é, por sua vez, repassada ao consumidor através dos preços. Portanto, o nível de segurança dos veículos é indiretamente determinado pelos consumidores, pois é a disposição a pagar por mais tecnologia nos veículos que faz com que as fabricantes invistam no desenvolvimento de novas tecnologias. Já o nível de utilização pode ser decomposto entre o nível de precaução do motorista, ou seja, se o motorista conduz seu veículo de forma prudente, respeitando os limites de velocidade, e a quantidade de vezes que o veículo é retirado da garagem, pois, quanto mais vezes este é usado, maior a probabilidade de ocorrência de um acidente.

Um segundo ponto que pode ser analisado pela ótica da economia é a relação entre a responsabilidade civil e os incentivos ao desenvolvimento tecnológico. Ainda que a discussão sobre a responsabilidade objetiva dos fabricantes e desenvolvedores quando os VAs atingirem o estágio de completa autonomia (níveis 4 e 5) esteja em curso, no presente ainda não atingimos este estágio de desenvolvimento tecnológico. O conjunto de incentivos existentes sobre as empresas empenhadas no desenvolvimento dessas tecnologias, incluindo a responsabilidade civil, tem papel fundamental para que tais níveis de autonomia sejam alcançados. Em particular, a responsabilização objetiva dos desenvolvedores



e fabricantes sobre o risco de desenvolvimento pode ser problemática para o avanço tecnológico. O risco do desenvolvimento refere-se àqueles perigos que não podem ser previstos ou identificados mesmo com o conhecimento científico e tecnológico mais avançado disponível no momento em que um produto ou serviço é lançado no mercado. Esses riscos só se tornam evidentes após um período de utilização, seja em decorrência de acidentes e danos ocorridos, seja em função de novos avanços nos estudos e testes realizados posteriormente. Conforme argumentam Pinheiro, Borges e Mello (2019), há uma imprevisibilidade dos defeitos num *software* de VA. Para que os defeitos identificados sejam corrigidos, é necessário alterar o código do *software*, o que pode levar o programa a cometer novos erros que, anteriormente, não eram cometidos ou que não poderiam ser previstos. Além disso, alguns erros não são causados durante o projeto e desenvolvimento do *software*; eles surgem posteriormente, porque o ecossistema em que estão inseridos se altera ao longo do tempo, impondo novas condições de trabalho que jamais poderão ser antecipadas. Diante desse cenário, a responsabilização objetiva por riscos de desenvolvimento pode não apenas se revelar injusta, como também comprometer os incentivos à inovação, especialmente em setores altamente dinâmicos e incertos como o dos veículos autônomos.

Os incentivos ao desenvolvimento tecnológico também entram na discussão sobre eficiência social, pois a probabilidade de ocorrência de um acidente será menor quanto mais os desenvolvedores e fabricantes investirem nos níveis de segurança dos VAs. Talley (2019) argumenta que grande parte da capacidade dos VAs contribuem para evitar danos vem dos investimentos antecipados em engenharia e projeto, que expandem o domínio do algoritmo. Um VA será tão capaz de evitar um potencial acidente quanto mais treinado estiver seu algoritmo para reagir a diversas situações e, treinar esse algoritmo representa um custo para os desenvolvedores e fabricantes. Do ponto de vista da eficiência econômica, esses agentes devem continuar investindo em melhorias até que o custo marginal de aperfeiçoar o algoritmo se iguale ao benefício social marginal gerado pela redução de acidentes, considerando os limites tecnológicos dos VAs. Portanto, regimes de responsabilidade que desincentivem tais investimentos podem comprometer os ganhos sociais potenciais associados à adoção dos VAs.

Para Talley (2019), quando os VAs atingirem plena autonomia (níveis 4 e 5), não fará sentido vincular a negligência do causador às suas precauções enquanto dirige, uma vez que essa função será algorítmica, e os VAs terão capacidade praticamente infinita para evitar acidentes nos caminhos que estão dentro do seu domínio. No entanto, um padrão de negligência ideal, baseado no causador, ainda é coerente na fase de projeto, isto é, na transição entre veículos que necessitam de supervisão e os plenamente autônomos. A melhor resposta do causador dependerá da relação entre a probabilidade de acidente e a função de custo da tecnologia. Assim, cabe ao legislador definir qual é a probabilidade de acidente aceitável, estabelecendo um parâmetro que não inviabilize o avanço tecnológico, mas que também não



comprometa a segurança pública. Dessa forma, os mecanismos eficientes de responsabilidade civil devem promover incentivos para que os fabricantes produzam veículos seguros e avancem no desenvolvimento da autonomia dos veículos, conscientes de que esses custos serão repassados aos consumidores via preço. Além disso, os usuários devem ser incentivados a utilizar seus veículos de maneira socialmente eficiente, tanto no que diz respeito à quilometragem rodada quanto às precauções adotadas durante o uso, garantindo um equilíbrio entre o uso dos veículos e a redução dos danos associados aos acidentes. Vale destacar também a questão da heterogeneidade de veículos. É necessário pensar em um sistema que constantemente incentive fabricantes e consumidores a adotarem veículos mais seguros (com melhor capacidade algorítmica). Do contrário, aqueles que compram veículos com maior capacidade de evitar acidentes ainda estarão suscetíveis a sofrer acidentes causados por veículos de menor capacidade algorítmica e, caso esses causadores não sejam responsabilizados, os incentivos à adoção de veículos mais seguros serão reduzidos.

À medida que os níveis de autonomia aumentam e o grau de adoção dos veículos autônomos se torna mais significativo, também se alteram as relações e os incentivos entre veículos tradicionais e VAs (PINHEIRO; BORGES; MELLO, 2019). A convivência de ambos os tipos de veículos no trânsito implica desafios adicionais para a definição de responsabilidades e para a estruturação de um sistema que mantenha incentivos corretos tanto para fabricantes quanto para usuários. Em particular, destaco o problema de risco moral causado pela maior eficiência e segurança dos VAs sobre os níveis de precaução dos motoristas de veículos tradicionais². Conforme mais VAs são adotados e, consequentemente, menos acidentes ocorrem, os motoristas de carros tradicionais terão menos incentivos para adotarem medidas de precaução enquanto dirigem, dado que essas medidas são custosas. Isso resulta em um menor ganho social esperado com a proliferação dos VAs na sociedade.

Di, Chen e Talley (2019) analisam o papel estratégico de legislador diante do avanço no nível de adoção dos VAs e a existência de risco moral por parte dos motoristas de veículos tradicionais. Os autores destacam a importância de uma regulação adaptativa, que considere os efeitos dinâmicos da interação entre diferentes tipos de agentes e tecnologias no trânsito, evitando a sobrecarga de responsabilidade sobre os VAs sem comprometer a segurança pública. O ponto principal de análise são os padrões legais de segurança exigido das fabricantes de VAs. À medida que esses veículos ganham espaço no mercado, torna-se necessário ajustar progressivamente esses padrões. Em estágios iniciais, o legislador tende a adotar padrões mais baixos para não inibir a inovação. Já em fases mais avançadas,

2 Risco moral refere-se à mudança de comportamento de um agente que, ao não arcar integralmente com os custos de suas ações, tende a agir de forma menos cuidadosa ou mais arriscada do que faria se estivesse totalmente exposto às consequências.

um legislador estratégico deve impor exigências mais severas, forçando os fabricantes a elevarem seus níveis de segurança. O problema, como mencionado, é que o aumento nos padrões de segurança dos VAs, bem como sua maior prevalência, desincentiva os motoristas de veículos tradicionais a adotarem medidas de precaução. A presença de risco moral por parte dos motoristas de veículos tradicionais pode reduzir o nível de segurança esperado dos VAs e, consequentemente, reduzir a disposição dos consumidores a pagar por carros mais seguros. O legislador estratégico, portanto, deve considerar as necessidades de incentivar o desenvolvimento tecnológico de veículos mais seguros e sua adoção pelos consumidores, levando em conta a existência de risco moral por parte dos motoristas de veículos tradicionais, de tal forma que o ônus da redução precaucional não seja transferida aos fabricantes de VAs.

De Chiara et al. (2021) enfocam a questão da responsabilidade civil sob a ótica da adoção tecnológica e incentivos à inovação. Em um cenário em que a responsabilidade permanece com o condutor humano (via regime de negligência), a motivação para adquirir um veículo autônomo é reduzida, uma vez que o comprador ainda precisa manter o nível de precaução exigido aos veículos tradicionais, podendo ser responsabilizado em caso de falha. Já sob um regime de responsabilidade objetiva, o comprador se livra da responsabilidade jurídica, e o incentivo passa a ser a redução dos custos de precaução, estimulando a adoção do veículo e, por conseguinte, o investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) por parte dos fabricantes. No entanto, a responsabilidade objetiva também pode gerar distorções, como o uso excessivo do VA independentemente da sua qualidade tecnológica, o que diminui os incentivos ao investimento eficiente em segurança. Para enfrentar esse problema, os autores sugerem a imposição de multas calibradas ou taxas de uso que levem os consumidores a internalizar os custos reais da atividade, promovendo o equilíbrio entre adoção e investimento.

Em síntese, a eficiência social no contexto da circulação de veículos autônomos depende diretamente do equilíbrio entre o nível de utilização dos veículos e os danos decorrentes de acidentes, sendo este equilíbrio fortemente influenciado pelo regime de responsabilidade civil adotado. A forma como o ordenamento jurídico estrutura a responsabilização por danos afeta não apenas o comportamento dos usuários, mas também os incentivos das fabricantes e desenvolvedores para investir em segurança e inovação. Um regime de responsabilidade mal calibrado pode gerar desincentivos tanto à adoção de veículos mais seguros quanto ao avanço tecnológico necessário para ampliar o domínio dos algoritmos. Por isso, o regime de responsabilidade civil deve ser desenhado de forma a internalizar corretamente os custos sociais dos acidentes, incentivando investimentos eficientes em segurança e promovendo um nível de adoção compatível com os ganhos potenciais associados à automação veicular.

4. REGIMES DE RESPONSABILIDADE CIVIL APLICÁVEIS AOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS

A introdução de VAs no mercado representa um desafio para os sistemas tradicionais de responsabilidade civil. À medida que o controle humano sobre a direção é substituído por algoritmos, sensores e sistemas automatizados, a atribuição de responsabilidade por acidentes se desloca do condutor para outros agentes envolvidos, como fabricantes de hardware, desenvolvedores de software e fornecedores de componentes. Nesse cenário, diferentes modelos teóricos têm sido propostos para lidar com essa transição e orientar a legislação futura. Esta seção examina as principais alternativas apresentadas na literatura de AED, com base em levantamento bibliográfico conduzido por meio de buscas em bases acadêmicas nacionais e internacionais. O critério de seleção adotado privilegiou trabalhos que propõem regimes de responsabilidade civil com aplicação normativa concreta, ainda que apresentem formalização matemática, em detrimento de abordagens puramente formais ou restritas a modelos.

4.1. RESPONSABILIDADE EMPRESARIAL DO FABRICANTE

Segundo Abraham e Rabin (2019), a crescente adoção de veículos autônomos de nível 4 e nível 5 deverá tornar obsoleto o atual regime jurídico de responsabilidade civil centrado na figura do motorista. Isso se deve ao fato de que, nesses níveis de automação, a intervenção humana será mínima ou inexistente, reduzindo drasticamente as hipóteses de negligência por parte de condutores humanos. Com isso, os litígios relacionados à responsabilidade por acidentes tendem a se concentrar no desempenho técnico e no *design* dos sistemas automatizados, deslocando o foco da culpa individual para a responsabilidade do fabricante.

Contudo, mesmo para os níveis menos elevados de automação, os autores identificam uma distinção crítica em relação aos Níveis 2 e 3, que possuí relação direta com o produto, ainda que não seja exclusiva ao fabricante. No Nível 2, os sistemas operam sob constante supervisão do motorista humano, enquanto os sistemas de Nível 3 são projetados para monitorar autonomamente as condições da estrada e determinar quando seus próprios limites operacionais estão prestes a serem excedidos. Nessas situações, a chamada “tomada de controle” pelo condutor se torna um ponto central para a segurança do sistema, e sua adequada execução é um aspecto juridicamente sensível, com potencial para se tornar objeto de disputas judiciais envolvendo responsabilidade por produto. Os autores destacam dois cenários distintos de possível defeito em sistemas de Nível 3. O primeiro refere-se à falha do sistema de alerta de tomada de controle em funcionar conforme seu projeto, caracterizando um típico defeito de fabricação. O segundo cenário diz respeito à falha do algoritmo em antecipar corretamente a necessidade de devolução do controle ao motorista em determinadas circunstâncias, o que configuraria uma falha de concepção ou uma omissão no fornecimento de advertências e instruções adequadas.

Para lidar com esse novo cenário, no qual a responsabilidade envolvendo acidentes torna-se cada vez mais de caráter objetivo, os autores propõem a criação de um regime de Responsabilidade Empresarial do Fabricante (*Manufacturer Enterprise Responsibility – MER*), estruturado como um modelo de responsabilidade objetiva, solidária e conjunta. Esse regime incluiria não apenas os fabricantes dos veículos completos, mas também os produtores de peças e componentes autônomos. Ao incluir os demais atores do processo produtivo, dilui-se o risco de desenvolvimento, que deixa de recair apenas sobre o fabricante. A proposta envolve a constituição de um fundo de compensação, obrigatoriamente financiado pelos fabricantes, desenvolvedores e demais participantes, com o objetivo de indenizar vítimas de acidentes causados por falhas em veículos autônomos, independentemente da identificação precisa da origem do defeito.

4.2. RESPONSABILIDADE OBJETIVA AO ESTADO

Shavell (2020) propõe um modelo distinto, centrado na Responsabilidade Objetiva ao Estado. Nessa proposta, os responsáveis por acidentes – sejam motoristas, fabricantes ou operadores – não indenizam diretamente as vítimas, mas efetuam pagamentos ao Estado. O objetivo é que cada agente internalize completamente os custos sociais de suas ações, gerando incentivos para o nível ótimo de segurança e uso. O sistema suprime as compensações entre as partes acidentadas, eliminando distorções que surgem quando as vítimas são indenizadas por terceiros.

No caso de regimes sem responsabilidade, ou sob responsabilidade objetiva bilateral, em que cada parte envolvida em um acidente arca apenas com os danos que causa à outra, os agentes tendem a adotar níveis insuficientes de precaução. Isso ocorre porque o custo que cada parte é responsável corresponde apenas a uma fração do dano social total³ (entendido como a soma dos prejuízos sofridos por ambas as partes), o que leva à produção e uso de veículos menos seguros do que seria socialmente desejável.

Sob o regime de Responsabilidade Objetiva ao Estado, os indivíduos arcariam integralmente com as perdas que causam, o que tende a induzir comportamentos mais prudentes. Comparando esse regime à responsabilidade objetiva dos fabricantes, Shavell (2020) argumenta que o fabricante transferiria os custos inerentes à compensação integral aos consumidores por meio de acréscimos no preço do veículo, geralmente na forma de uma taxa proporcional à quilometragem prevista. No entanto, esse modelo ainda seria ineficiente, pois o consumidor não internaliza o custo marginal do risco decorrente de seu comportamento, tendo, assim, incentivos ao uso excessivo dos VAs.

³ O dano social total é a soma dos danos sofridos por ambas as partes do acidente. Seja no regime sem responsabilidade, ou sob responsabilidade objetiva bilateral, cada parte acidentada paga apenas uma fração do dano social total – o seu próprio prejuízo ou o prejuízo causado à outra parte, respectivamente.

Uma proposta intermediária considera a responsabilidade objetiva dos fabricantes ao Estado. Nesse caso, os pagamentos de responsabilidade são transferidos ao ente público, e o fabricante incorpora tais custos ao valor final do produto. O resultado seria equivalente à responsabilidade objetiva dos indivíduos ao Estado, mas com a vantagem de concentrar os incentivos no agente com maior capacidade de inovação e controle tecnológico: o fabricante.

A ideia da responsabilidade objetiva ao Estado, ainda que atinja o objetivo de criar incentivos ótimos para fabricantes e consumidores, apresenta um problema de natureza prática. Dado que ambas as partes envolvidas no acidente deverão arcar com seus próprios custos e ainda pagar um valor adicional ao Estado, nenhuma delas terá incentivos para reportar a ocorrência do acidente. Note que, quando ao menos uma das partes acidentadas espera receber alguma compensação, ela terá incentivos para reportar o acidente, a fim de que os devidos processos legais sejam iniciados e possa receber sua indenização. Sem a expectativa de receber algo e diante de um ônus adicional a ser pago ao Estado, nenhuma das partes reportará o acidente, e caberá ao Estado realizar todo o monitoramento, a fim de garantir que os níveis de utilização dos consumidores sejam, de fato, eficientes.

4.3. RESPONSABILIDADE RESIDUAL DO FABRICANTE

Guerra, Parisi e Pi (2022) propõem o regime da Responsabilidade Residual do Fabricante (*Manufacturer Residual Liability – MRL*), que visa reconciliar eficiência e justiça compensatória. Trata-se de uma responsabilidade objetiva residual aplicada ao fabricante, combinada com uma defesa baseada em negligência contributiva do operador ou da vítima. Sob esse modelo, o fabricante responde pelos danos sempre que não houver clara demonstração de negligência de outra parte, ou quando ambas as partes tiverem agido com o cuidado exigido. A proposta visa criar um conjunto eficiente de incentivos para promover quatro objetivos principais: (i) estimular níveis ótimos de cuidado humano por parte de operadores e vítimas, (ii) incentivar um uso responsável e eficiente dos robôs, (iii) fomentar investimentos em pesquisa e desenvolvimento voltados à segurança e (iv) promover a adoção de robôs mais seguros no mercado. Em casos de acidentes em que não se pode atribuir culpa clara a nenhuma das partes ou quando ambas agiram sem negligência, a MRL opera como um regime de responsabilidade residual, garantindo que as vítimas inocentes ainda possam ser compensadas — diferentemente da abordagem de Shavell (2020), em que tais danos seriam pagos ao Estado. Essa solução não apenas cumpre uma função corretiva e compensatória mais robusta, como também aumenta os incentivos das vítimas a acionarem o sistema judicial, dado que há expectativa real de reparação.

A lógica de atribuir ao fabricante a responsabilidade residual repousa sobre dois pilares centrais: primeiro, trata-se do agente com maior capacidade técnica e econômica para prevenir falhas, sobretudo aquelas que decorrem de aspectos

tecnológicos complexos e potencialmente indetectáveis em juízo; segundo, é o fabricante quem se encontra em melhor posição para internalizar os custos dos danos e repassá-los por meio de mecanismos de precificação. Assim, o custo do robô refletirá diretamente sua periculosidade: quanto mais seguro o produto, menor o preço final ao consumidor — o que cria um ambiente competitivo centrado na segurança. Essa lógica também impõe incentivos para que fabricantes atualizem ou retirem do mercado robôs obsoletos, diante do aumento da responsabilidade esperada por falhas associadas a esses produtos.

Além disso, o regime MRL aumenta a eficiência da litigância ao transferir aos fabricantes o incentivo para preservar provas e identificar a negligência dos usuários — função que, tradicionalmente, recai sobre as vítimas (a parte que espera ser recompensada). Sob esse regime, os fabricantes teriam incentivos para implementar provas digitais e registros detalhados do comportamento do robô e de seus operadores, facilitando a demonstração de eventual negligência por parte do usuário ou até mesmo da vítima.

Isso redistribui o ônus da prova de maneira eficiente: enquanto as vítimas são aliviadas da carga probatória excessiva, os fabricantes passam a ter incentivo direto para produzir, preservar e utilizar provas relevantes em eventual litígio. De fato, os fabricantes possuem vantagem comparativa em relação às vítimas na obtenção e análise de dados técnicos e comportamentais, o que aumenta a probabilidade de responsabilização dos operadores negligentes e reforça os incentivos para que todos os envolvidos ajam com o devido cuidado. Ademais, em regimes de negligência contributiva ou comparativa, os fabricantes teriam incentivos adicionais para monitorar o comportamento das vítimas, visto que a identificação de falhas por parte destas poderia reduzir ou excluir sua própria responsabilidade.

Por fim, os autores destacam que, na presença de mecanismos de precificação — isto é, quando os fabricantes podem cobrar dos operadores taxas proporcionais ao risco gerado por seu uso — os efeitos da MRL se estendem aos operadores, incentivando-os a ajustarem seus níveis de atividade conforme o risco, promovendo, assim, um equilíbrio eficiente entre inovação, segurança e justiça compensatória.

4.4. RESPONSABILIDADE RESIDUAL DA VÍTIMA

Fechando os regimes em análise, destaco a contribuição de Kim (2023) que discute regras híbridas de responsabilidade aplicáveis à veículos autônomos de nível 4. O autor explora distintos cenários de acidentes — unilaterais e bilaterais — e avalia a eficiência de regimes que combinam responsabilidade objetiva, negligência e alocação residual de responsabilidade. A principal inovação conceitual é a introdução da regra de Responsabilidade Residual da Vítima (*Victim Residual Liability* – VRL), segundo a qual a vítima arca com todos os riscos remanescentes do acidente caso os causadores diretos (fabricante e operador humano) tenham observado os devidos padrões de cuidado e atividade.

Em situações de acidente unilateral, nas quais a probabilidade de dano independe do comportamento da vítima, a regra socialmente ótima consiste em aplicar a negligência ao fabricante (para induzir o nível eficiente de cuidado tecnológico) e a responsabilidade objetiva ao operador humano, responsável exclusivamente por definir o nível de atividade do veículo. Entretanto, a ausência de responsabilidade da vítima pode eliminar seus incentivos ao cuidado. Para mitigar esse efeito adverso, recomenda-se a incorporação de negligência contributiva ou comparativa, de modo que uma vítima que não tome o devido cuidado seja responsabilizada por parte do dano.

Já no contexto de acidentes bilaterais, nos quais o risco decorre das condutas de ambas as partes, a simples aplicação de negligência ou responsabilidade objetiva isoladamente não é suficiente para alcançar o ótimo social (vide explicação na Responsabilidade Objetiva ao Estado). O operador humano tende a adotar níveis excessivos de atividade quando não internaliza o risco que impõe a terceiros, ao passo que a vítima não tem incentivo ao cuidado se for compensada integralmente. A solução proposta é uma regra híbrida: aplica-se a responsabilidade objetiva ao operador, enquanto fabricante e vítima estão sujeitos à regra da negligência, todos sob regime de responsabilidade solidária. Quando complementada por negligência contributiva ou comparativa, essa estrutura permite a alocação proporcional da responsabilidade e restaura os incentivos para comportamentos eficientes por todas as partes.

A proposta da VRL torna-se particularmente eficaz quando os níveis de atividade e cuidado exigidos podem ser definidos legalmente. Nesse cenário, o operador e o fabricante cumprem padrões normativos objetivos e a vítima, como responsável residual, arca com todos os custos dos acidentes não atribuíveis a falha dos demais agentes. Essa alocação incentiva a vítima a adotar cuidado eficiente, independentemente de estar protegida ou não por defesas de negligência, e elimina a necessidade de litígios complexos para aferição de culpa. Em termos de autonomia dos veículos, isso corresponde aos níveis 4 e 5, nos quais a responsabilidade passa a ser objetiva (relativa ao produto) e, portanto, torna-se possível determinar legalmente os níveis de cuidado e atividade.

Além disso, Kim (2023) discute a integração de decisões de investimento em segurança no modelo. Regimes puramente baseados em negligência, embora eficazes para induzir cuidados operacionais, não incentivam adequadamente o investimento em tecnologias de prevenção de acidentes. Para tanto, propõe-se uma regra de dupla responsabilidade objetiva, onde tanto o operador quanto o fabricante respondem objetivamente, mas apenas um deles efetua o pagamento compensatório (por exemplo, ao Estado). A vítima, neste caso, será incentivada a adotar cuidado apenas se não for compensada em caso de negligência, reforçando a utilidade da defesa de negligência contributiva. Sob essa lógica, o ótimo social pode ser alcançado mesmo sem fiscalização direta, pois cada parte responderá pelos riscos que controla.



Por fim, destaca-se a recomendação normativa de que, no contexto de VAs de nível 4 ou superior, a regra mais eficiente seria aquela em que: o fabricante é sujeito à negligência primária (cuidado); o operador humano é responsável residual (atividade) e; a vítima responde apenas se negligente, especialmente sob o regime VRL. Essa estrutura permite compatibilizar os incentivos à inovação tecnológica, à moderação da atividade e à adoção de cuidados individuais, equilibrando justiça compensatória e eficiência alocativa em um cenário tecnológico em transição.

5. APLICAÇÃO DOS REGIMES DE RESPONSABILIDADE CIVIL NO CONTEXTO JURÍDICO BRASILEIRO

Conforme destacam Pinheiro, Borges e Mello (2019, p. 252), segundo o ordenamento jurídico vigente no Brasil, agentes autônomos e robôs não podem ser responsabilizados por ações ou omissões que causem danos a terceiros, uma vez que são destituídos de personalidade jurídica. As normas atualmente aplicáveis em matéria de responsabilidade contemplam apenas situações em que a causa da ação ou omissão do robô possa ser atribuída a um agente humano específico, como o fabricante, o proprietário ou o usuário, isto é, quando esse agente poderia ter previsto e evitado o comportamento danoso. Além disso, esses mesmos agentes poderiam ser responsabilizados objetivamente pelas ações ou omissões do robô caso este fosse classificado como um objeto perigoso ou estivesse sujeito às normas de responsabilidade por produtos.

Neste sentido, argumentam Teffé e Medon (2019), pode-se cogitar da aplicação de um regime de responsabilidade semelhante àquele estabelecido pelo fato da coisa ou pelo risco (na forma do parágrafo único do art. 927 do Código Civil). No primeiro caso, o esquema seria próximo ao aplicável para os animais: seu dono ou detentor ressarcirá o dano por ele causado, a menos que prove culpa da vítima ou força maior. Dentro do contexto de inteligência artificial, o responsável deve arcar com os riscos decorrentes da imprevisibilidade de sua atuação. No âmbito da responsabilidade civil objetiva, pode-se conceber uma modalidade agravada para determinadas situações específicas. Em cenários caracterizados por riscos elevados, revela-se possível dispensar a exigência do nexo de causalidade, desde que o risco seja inerente à atividade geradora do dano. Assim, em hipóteses especiais, basta que o dano seja considerado decorrente de um risco característico ou típico da atividade em questão, eliminando a necessidade de comprovação direta do nexo causal.

A responsabilidade civil prevista no CDC pode ser aplicada nos casos em que o dano causado por um veículo autônomo VA tenha origem em uma falha do produto. Nessas situações, os veículos podem ser classificados como produtos defeituosos por problemas de concepção, fabricação, desenvolvimento ou por insuficiência de informações fornecidas ao consumidor. Assim, incidem as normas do CDC relativas aos defeitos do produto ou do serviço, sem prejuízo da aplicação de outras legislações pertinentes. Tradicionalmente, a responsabilidade do

fornecedor no Brasil dependia da comprovação de dolo ou culpa. Com a entrada em vigor do CDC, entretanto, essa lógica foi alterada: passou-se a adotar a teoria do risco do empreendimento, que atribui ao fornecedor a responsabilidade objetiva por eventuais falhas nos bens e serviços ofertados. De acordo com essa concepção, qualquer agente que se proponha a atuar no mercado de consumo assume o dever de reparar os danos decorrentes de defeitos, independentemente de culpa. A partir do momento em que alguém se engaja em atividades como produção, armazenamento, distribuição e comercialização de produtos, este assume a responsabilidade pelos danos causados ao consumidor. Além disso, cabe ao fornecedor assegurar a qualidade e a segurança dos produtos que disponibiliza no mercado.

Uma segunda possibilidade é de que os danos sejam oriundos da própria autonomia do veículo, ou seja, que o dano causado seja uma consequência da capacidade decisória instalada no veículo (defeito). A noção de defeito ocupa posição central nas discussões sobre a responsabilidade do fornecedor no âmbito do Código de Defesa do Consumidor. Um dos parâmetros adotados para caracterizar o defeito está na incapacidade do fabricante de eliminar os riscos associados ao uso do produto sem comprometer sua funcionalidade. De acordo com o §1º do art. 12 do CDC, considera-se defeituoso o produto que não proporciona a segurança que dele legitimamente se espera. Nesse contexto, o dever de segurança impõe ao fornecedor a obrigação de não disponibilizar no mercado, produtos ou serviços que apresentem defeitos. Caso descumpra essa obrigação e o defeito resulte em um acidente de consumo, o fornecedor será responsabilizado independentemente da existência de culpa, nos termos da responsabilidade objetiva. Assim, é atribuído ao fabricante o dever de garantir que os produtos colocados à disposição dos consumidores sejam isentos de defeitos (PINHEIRO; BORGES; MELLO, 2019).

Em se tratando de veículos inteiramente autônomos, Carlini (2022) argumenta que no sistema brasileiro de responsabilidade civil, o consumidor não poderá ser responsabilizado por sua opção de aquisição do produto e, portanto, deverá ser indenizado pelo fornecedor porque a responsabilidade deste é objetiva. Sob uma perspectiva econômica, é possível identificar alguns desdobramentos decorrentes da responsabilização dos fabricantes por acidentes envolvendo VAs, conforme previsto no ordenamento jurídico brasileiro. A meu ver, é necessário delimitar a responsabilidade do fornecedor quanto a defeitos no veículo e quanto a incapacidade de reação, por parte do algoritmo, em uma determinada situação que culminou em um acidente. Conforme argumentei na seção anterior, a capacidade de autonomia e reação diante de diferentes cenários dos VAs está diretamente relacionado ao nível tecnológico que o fabricante atribui ao veículo, e o sistema de preços reflete este nível tecnológico, de forma que veículos com mais capacidade de autonomia serão vendidos a preços mais elevados. Para o caso de defeitos no veículo, a responsabilidade sobre o fornecedor é objetiva, pois a causa do acidente

decorre, diretamente, de uma falha cuja probabilidade de ocorrência não estava prevista no preço pago pelo consumidor. A questão torna-se mais complexa quando a causa do acidente foi algo que o algoritmo presente no veículo de alguma das partes do acidente não era capaz de prever ou reagir. Sob esse cenário, é necessário analisar as informações divulgadas entre produtores e compradores. Se for comprovado que o produtor divulgou publicamente a informação sobre a capacidade de autonomia do veículo e, o acidente em questão resultou de uma situação da qual, sabidamente, o VA não teria a capacidade técnica de responder, a responsabilidade pode ser atribuída ao consumidor, pois este tinha a informação necessária para avaliar os riscos potenciais do VA que estava comprando.

Ademais, a imposição da responsabilidade pelo produto não implica ausência de impactos sobre os consumidores. Ao assumirem integralmente os custos associados a eventuais acidentes, os fornecedores tendem a incorporar esses encargos ao preço de venda dos VAs, internalizando o risco por meio da especificação. Essa prática pode provocar uma retração na demanda, o que gera implicações diretas sobre o ritmo de desenvolvimento tecnológico e o nível de adoção da tecnologia no mercado. Com a redução da demanda e, consequentemente, da receita, diminuem-se os incentivos econômicos para investimentos contínuos no aprimoramento das tecnologias aplicadas aos VAs. Cabe destacar, contudo, que a indústria automobilística brasileira é composta, em sua maioria, por empresas estrangeiras, e que o desenvolvimento das tecnologias voltadas aos VAs, até o presente momento, tem sido liderado por corporações sediadas no exterior. Portanto, essa especificidade do mercado nacional tende a ter impacto limitado no avanço tecnológico em escala global. No que se refere ao mercado interno, um segundo aspecto relevante diz respeito à possível ampliação da presença de VAs nas vias brasileiras e à consequente redução de seus preços. De acordo com os princípios da responsabilidade civil objetiva, o aumento da circulação desses veículos, somado à expectativa de redução da ocorrência de acidentes, pode levar à diminuição dos custos indenizatórios suportados pelos fabricantes. Com isso, reduz-se o montante a ser repassado aos consumidores, o que tende a diminuir os preços finais e, consequentemente, ampliar a quantidade de VAs em circulação.

307

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, contribuo com a literatura de responsabilidade civil aplicada a veículos autônomos, em particular por meio da AED. Após uma breve contextualização sobre os dois pontos centrais do artigo, veículos autônomos e responsabilidade civil, exploro como a literatura de análise econômica do direito trata o problema da responsabilidade civil aplicada a veículos autônomos, isto é, como é entendida a ideia de eficiência social quando pensamos nesse tópico. Para esta seção final, retomo os regimes de responsabilidade apresentados na quarta



seção, explorando com mais detalhes quais desses melhores se enquadram ao contexto jurídico brasileiro.

O regime de Responsabilidade Empresarial do Fabricante (MER), proposto por Abraham e Rabin (2019), é o mais factível de ser aplicado no Brasil, levando em consideração o nosso ordenamento jurídico atual, principalmente quando os VAs atingirem completa autonomia. Neste cenário, a responsabilidade subjetiva, fortemente pautada pela negligência do condutor, deixará de existir, restando apenas a responsabilidade objetiva sobre o produto. O MER apresenta-se como uma solução interessante para diluir os riscos sobre os agentes envolvidos na fabricação dos VAs, tal que os incentivos ao desenvolvimento tecnológico continuem existindo. O problema, por sua vez, é a existência de risco moral por parte dos consumidores, que utilizarão os veículos acima do nível ótimo.

O regime de Responsabilidade Objetiva ao Estado (SHAVELL, 2020) é uma alternativa em se tratando de resolver o problema do risco moral dos consumidores. Nele, as partes envolvidas em um acidente devem arcar com seus próprios custos e realizar um pagamento ao Estado referente ao dano causado na outra parte, de tal maneira que todo o custo social envolvido no acidente seja internalizado pelos condutores. O grande problema dessa proposta recai sobre o monitoramento dos acidentes. No regime atual, a parte não culpada pelo acidente, aquela que será indenizada, tem incentivos a reportar o acidente precisamente para que receba a sua indenização. Sob o regime de Responsabilidade Objetiva ao Estado, nenhuma das partes tem incentivos a reportar o acidente, pois nenhuma das partes tem algo a ganhar com a denúncia (ambas já terão que arcar com os próprios custos mais o pagamento ao Estado). Portanto, todo o custo de monitoramento dos acidentes recairá sobre o Estado.

Por último, os regimes de Responsabilidade Residual do Fabricante (GUERRA; PARISI; PI, 2022) e Responsabilidade Residual da Vítima (KIM, 2023) são as propostas que melhor atingem os objetivos de eficiência objetivados pela análise econômica. A ideia em si da responsabilidade residual me parece interessante tratando-se de VAs, pois, conforme argumentado por diversos autores, quando chegarmos ao estágio de completa autonomia dos veículos, não haverá como atribuir culpa (negligência) a nenhuma das partes envolvidas, dado que os veículos serão conduzidos por algoritmos e não pelos usuários. Resta discutirmos quem deve ser o responsável pelos acidentes: fabricante ou vítima. No caso de os fabricantes serem responsabilizados, há a possibilidade de ocorrer um processo de seleção adversa dos consumidores. Como já discutido, se a responsabilidade for atribuída aos fabricantes, estes repassarão o risco de acidentes via preços aos consumidores. Sem saber qual o nível de atividade que determinado consumidor pretende utilizar, os fabricantes repassarão nos preços um valor médio do que esperam arcar com acidentes por unidade vendida. Ao aplicarem esse mecanismo de precificação, o preço cobrado será mais alto do que os consumidores que pretendem utilizar pouco seus veículos gostariam de pagar e mais baixo do que

aqueles que pretendem utilizar muito estão dispostos a pagar. Como consequência, apenas os consumidores de alto nível de utilização comprarão os VAs, fazendo com que os gastos decorrentes da responsabilidade dos fabricantes sejam maiores do que o arrecadado com as vendas. O regime de responsabilidade das vítimas, por sua vez, faz com que os consumidores internalizem seus próprios riscos decorrentes dos níveis de utilização, levando a níveis ótimos de uso.

Ainda que, sob a ótica da análise econômica, o regime VRL alcance maior eficiência entre os incentivos dos fabricantes a melhorarem os veículos e os níveis ótimos de uso pelos consumidores, conforme argumenta Carlini (2022), o ordenamento jurídico brasileiro não prevê a responsabilização das vítimas, mesmo a residual, levando a crer que, se algum mecanismo de responsabilidade residual for adotado no Brasil, será o MRL.

Finalmente, considero que a discussão sobre regimes de responsabilidade civil e veículos autônomos ainda é um campo fértil para novas pesquisas. Em especial, um tema que merece atenção por parte dos pesquisadores da área é a relação entre a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) e os algoritmos utilizados em veículos autônomos. Conforme destaca Kubica (2022), caso os fabricantes adotem sistemas de inteligência artificial generativa nos algoritmos dos veículos — isto é, sistemas capazes de aprender com os dados coletados durante a operação —, torna-se primordial discutir como a legislação de proteção de dados incidirá sobre esses sistemas. Um exemplo elucidativo apresentado pela autora diz respeito à possibilidade de os algoritmos se comunicarem via nuvem. Nessa situação hipotética, as chances de acidentes poderiam ser reduzidas a quase zero, uma vez que todos os veículos estariam conectados entre si, de modo que qualquer imprevisto detectado por um deles pudesse ser antecipado pelos demais. No entanto, esse cenário levanta questionamentos relevantes sobre o direito à privacidade dos dados, o direito de locomoção e outros aspectos ligados ao rastreamento constante dos veículos. Por isso, discutir a aplicação da LGPD no contexto dos veículos autônomos é essencial, sobretudo diante das potencialidades de desenvolvimento tecnológico nessa área.

309

REFERÊNCIAS

ABRAHAM, K. S.; RABIN, R. L. Automated vehicles and manufacturer responsibility for accidents. **Virginia Law Review**, JSTOR, v. 105, n. 1, p. 127–171, 2019.

BARROS, J. P. L.; RABELO, T. C. A Regulação Jurídica da Inteligência Artificial no Brasil. **Revista Jurídica Luso-Brasileira**, Ano 8, n. 4, p. 1403-1421, 2021.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei n. 5.051, de 2019**. Estabelece os princípios para o uso da Inteligência Artificial no Brasil. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/138790>>.



BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei n. 5.691 de 2019.** Institui a Política Nacional de Inteligência Artificial. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/139586>>.

BROWN, J. P. Toward an economic theory of liability. **Journal of Legal Studies**, v. 2, Issue 2, p. 323-349, 1973.

CALABRESI, G.; MALAMED, A. D. Property rules, Liability rules and Inalienability: One View of the Cathedral. **Harvard Law Review**, v. 85, p. 1089, 1972.

CARLINI, A. L. Veículos Autônomos: Risco de desenvolvimento e seguros obrigatórios. **Revista Brasileira de Direito Civil**, HeinOnline, v. 31, p. 83, 2022.

DE CHIARA, A. et al. Car accidents in the age of robots. **International Review of Law and Economics**, Elsevier, v. 68, 2021.

DI, X.; CHEN, X.; TALLEY, E. Liability design for autonomous vehicles and human-driven vehicles: A hierarchical game-theoretic approach. **Transportation research part C: emerging technologies**, Elsevier, v. 118, 2020.

GUERRA, A.; PARISI, F.; PI, D. Liability for robots II: an economic analysis. **Journal of Institutional Economics**, Cambridge University Press, v. 18, n. 4, p. 553–568, 2022.

310

KIM, J.-Y. Law and Economics of Artificial Intelligence: Optimal Liability Rules for Accident Losses Caused by Fully Autonomous Vehicles. **Korean Economic Review**, v. 40, n. 1, p. 49–75, 2023.

KUBICA, M. L. Autonomous vehicles and liability law. **The American Journal of Comparative Law**, Oxford University Press UK, v. 70, n. Supplement 1, p. i39–i69, 2022.

MILHOMEM, B. D. C.; MOREIRA, A. F. Responsabilidade civil em acidentes de trânsito. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 11, n. 4, p. 1002–1015, 2025.

PINHEIRO, G. P.; BORGES, M. R.; MELLO, F. L. Danos envolvendo veículos autônomos e a responsabilidade civil do fornecedor. **Revista Brasileira de Direito Civil**, v. 21, n. 03, p. 247–247, 2019.



PIMENTA, E. G.; LANA, H. A. Análise Econômica do Direito e sua relação com o Direito Civil brasileiro. **Revista da Faculdade de Direito da UFMG**, n. 57, p. 85-138, 2010.

ROE, M. Who's driving that car: An analysis of regulatory and potential liability frameworks for driverless cars. **Boston College Law Review**, HeinOnline, v. 60, p. 317, 2019.

SHAVELL, S. On the redesign of accident liability for the world of autonomous vehicles. **The Journal of Legal Studies**, The University of Chicago Press Chicago, IL, v. 49, n. 2, p. 243–285, 2020.

SZTAJN, R. Notas de Análise Econômica: contratos e responsabilidade civil. **Revista de Direito Mercantil**, v. 11, n. 9, p. 9-29, 1998.

TALLEY, E. Automatorts: How should accident law adapt to autonomous vehicles? Lessons from Law and Economics. **Columbia Law School Working Paper Series Nº19002**, 2019.

TEFFÉ, C. S.; MEDON, F. Responsabilidade civil e regulação de novas tecnologias: questões acerca da utilização de inteligência artificial na tomada de decisões empresariais. **Revista Estudos Institucionais**, v. 6, n. 1, p. 301–333, 2020.