

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
FACULDADE DE DIREITO
PUC-SP**

ARTHUR FERNANDEZ DE MORAES

**TRIBUTAÇÃO SOBRE SISTEMAS AUTONOMOS: UMA ANÁLISE
DA TRIBUTAÇÃO SOBRE A INTERNET DAS COISAS**

São Paulo - SP
2025

ARTHUR FERNANDEZ DE MORAES

**TRIBUTAÇÃO SOBRE SISTEMAS AUTONOMOS: UMA ANÁLISE
DA TRIBUTAÇÃO SOBRE A INTERNET DAS COISAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado na Faculdade de Direito da PUC/SP como requisito básico para a conclusão do curso e para obtenção do título de Bacharel em Direito.

Área de Concentração: Direito Tributário

Orientador: Professor Doutor Tácio Lacerda Gama

São Paulo - SP

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, à minha família, base sólida de tudo o que sou. À minha mãe, Tânia, pelo amor incansável, pela força que me inspira e por sempre acreditar em mim, mesmo nos momentos em que eu próprio duvidei. À minha irmã, Victoria, por ser minha parceira de vida, por cada conversa, riso e gesto de apoio. À minha avó, Maria Luz, por seu carinho sereno e sabedoria silenciosa, que me acompanham desde sempre.

Ao meu avô, Cesar, dedico uma menção especial. Sua presença firme, seu exemplo de integridade e a forma como sempre me incentivou com palavras e gestos de confiança foram fundamentais nesta caminhada. Sem você eu não estaria aqui. Esta conquista também é sua.

Aos meus professores da Faculdade de Direito, pela dedicação ao ensino e pelo conhecimento compartilhado ao longo dos anos, deixo minha gratidão. Em especial, àqueles que me apresentaram o universo do Direito Tributário com profundidade e entusiasmo, área pela qual desenvolvi verdadeiro apreço.

Aos colegas de jornada acadêmica e de trabalho, que estiveram comigo em diferentes fases dessa trajetória, meu muito obrigado pelas trocas, pelo apoio mútuo e pelas boas memórias que levarei comigo.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui direta ou indiretamente, minha sincera e eterna gratidão.

MORAES. I. Tributação de sistemas autônomos: Uma análise da tributação sobre internet das coisas e o ISS. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Direito) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUC SP. São Paulo, 2025.

RESUMO

A acelerada expansão da Internet das Coisas (IoT) e dos sistemas autônomos reconfigura a economia global, introduzindo modelos de negócio inovadores e complexas cadeias de valor. Contudo, essa revolução tecnológica impõe desafios significativos aos sistemas tributários tradicionais, concebidos para uma realidade distinta. O sistema tributário brasileiro, marcado pela fragmentação de competências e pela rigidez de conceitos, demonstra particular dificuldade em se adaptar a essa nova dinâmica. Considerando a relevância do tema para a segurança jurídica e o desenvolvimento econômico, este trabalho analisa a problemática da tributação da IoT no Brasil, com foco nos conflitos entre ISS e ICMS e na adequação da legislação vigente. Examina os fundamentos conceituais da IoT, o marco legal e jurisprudencial brasileiro aplicável à economia digital, e as experiências internacionais na tributação de tecnologias emergentes. Ademais, especial atenção é dedicada às dificuldades na definição dos elementos da obrigação tributária (fato gerador, base de cálculo, sujeito passivo, local da operação) para as operações multifacetadas de IoT. Dessa forma, verifica-se que a ausência de um tratamento tributário claro e específico gera considerável insegurança jurídica, potencial bitributação e entraves à inovação. Conclui-se pela inadequação do modelo atual e pela necessidade de reformas, sejam elas estruturais (como a adoção de um IVA) ou infra reformistas (como ajustes na LC 116/03), que busquem maior clareza, neutralidade e alinhamento à essência econômica das operações, a fim de conciliar a arrecadação fiscal com um ambiente propício ao desenvolvimento tecnológico.

Palavras-chave: Internet das Coisas (IoT); Tributação; Imposto sobre Serviços (ISS); Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS); Economia Digital; Competência Tributária.

MORAES, I. Taxation of Autonomous Systems: An Analysis of Taxation on the Internet of Things and the ISS. Undergraduate Thesis (Bachelor of Laws) – Pontifical Catholic University of São Paulo – PUC-SP. São Paulo, 2025.

ABSTRACT

The rapid expansion of the Internet of Things (IoT) and autonomous systems is reshaping the global economy by introducing innovative business models and complex value chains. However, this technological revolution poses significant challenges to traditional tax systems, which were designed for a different reality. The Brazilian tax system, characterized by fragmented competencies and rigid legal concepts, faces particular difficulty in adapting to this new dynamic. Considering the relevance of the topic for legal certainty and economic development, this paper analyzes the taxation issues surrounding IoT in Brazil, focusing on the conflicts between ISS and ICMS and the adequacy of the current legislation. It examines the conceptual foundations of IoT, the applicable Brazilian legal and jurisprudential framework for the digital economy, and international experiences in taxing emerging technologies. Special attention is given to the difficulties in defining the elements of the tax obligation (taxable event, tax base, taxpayer, and place of operation) in the context of multifaceted IoT transactions. The analysis reveals that the absence of clear and specific tax treatment leads to considerable legal uncertainty, potential double taxation, and barriers to innovation. The study concludes that the current model is inadequate and that reforms are necessary—whether structural (such as the adoption of a VAT) or incremental (such as adjustments to Complementary Law 116/03)—to promote greater clarity, neutrality, and alignment with the economic substance of operations, thus reconciling tax collection with an environment conducive to technological development.

Keywords: Internet of Things (IoT); Taxation; Service Tax (ISS); Tax on the Circulation of Goods and Services (ICMS); Digital Economy; Tax Jurisdiction.

SÚMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. A REVOLUÇÃO DA INTERNET DAS COISAS E OS SISTEMAS AUTÔNOMOS: CONCEITOS FUNDAMENTAIS E IMPLICAÇÕES TECNOLÓGICAS.....	9
2.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA E TECNOLÓGICA: DA COMPUTAÇÃO UBÍQUA À IoT MASSIVA.....	10
2.2. ARQUITETURA EM CAMADAS E COMPONENTES ESSENCIAIS: DO SENSOR À NUVEM.....	11
2.3. SISTEMAS AUTÔNOMOS: A INTELIGÊNCIA EMBARCADA NA IoT.....	12
2.4. APLICAÇÕES PRÁTICAS E SETORIAIS: A TRANSFORMAÇÃO EM CURSO.....	14
2.5. MODELOS DE NEGÓCIO EMERGENTES E A CADEIA DE VALOR DA IoT.....	17
2.6. DESAFIOS TECNOLÓGICOS, ÉTICOS E SOCIAIS.....	19
3. FUNDAMENTOS DA TRIBUTAÇÃO NA ERA DIGITAL E O MARCO LEGAL BRASILEIRO.....	22
3.1. PRINCÍPIOS CONSTITUCIONAIS TRIBUTÁRIOS NA ERA DIGITAL: REINTERPRETAÇÕES NECESSÁRIAS.....	23
3.2. COMPETÊNCIA TRIBUTÁRIA E CONFLITOS FEDERATIVOS: A DISPUTA PELO FATO GERADOR DIGITAL.....	25
3.3. INCIDÊNCIA DE IPI, ICMS E ISS SOBRE OPERAÇÕES DIGITAIS E IoT: A COLCHA DE RETALHOS TRIBUTÁRIA.....	27
3.4. JURISPRUDÊNCIA RELEVANTE: MARCOS E INCERTEZAS (ADI 1945, ADI 5659 E OUTROS).....	31
3.5. O DECRETO Nº 9.854/2019 (PLANO NACIONAL DE IoT): UMA OPORTUNIDADE PERDIDA?.....	32
3.6. DESAFIOS NA DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS DA OBRIGAÇÃO TRIBUTÁRIA NA IoT.....	33
4. TRIBUTAÇÃO DA IOT: ANÁLISE COMPARADA E PERSPECTIVAS INTERNACIONAIS.....	35
4.1. PANORAMA INTERNACIONAL: DESAFIOS COMUNS E TENDÊNCIAS GLOBAIS NA TRIBUTAÇÃO DIGITAL.....	35
4.2. EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS SELECIONADAS: ABORDAGENS E DESAFIOS.....	39
4.3. IVA/GST E QUESTÕES ADUANEIRAS NA IoT: DETALHES CRUCIAIS.....	42
4.4. USO DA IoT PELA ADMINISTRAÇÃO TRIBUTÁRIA VS DIREITOS DOS CONTRIBUINTE: O EQUILÍBRIO DELICADO.....	44
5. PROPOSTAS E DIRETRIZES PARA A TRIBUTAÇÃO DA IOT NO BRASIL.....	48
5.1. DIAGNÓSTICO CRÍTICO: A INADEQUAÇÃO ESTRUTURAL DO SISTEMA TRIBUTÁRIO BRASILEIRO PARA A IoT.....	48
5.2. A REFORMA TRIBUTÁRIA COMO SOLUÇÃO ESTRUTURAL E A NECESSIDADE DE MEDIDAS TRANSITÓRIAS.....	50
5.3. PROPOSTAS CONCRETAS PARA O CENÁRIO ATUAL (LEGE FERENDA - FOCO NA LC 116/03).....	51
5.4. DIRETRIZES COMPLEMENTARES PARA UM ECOSISTEMA FAVORÁVEL À INOVAÇÃO.....	54
6. CONCLUSÃO.....	56
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

INTRODUÇÃO

A ascensão exponencial da Internet das Coisas (IoT) e dos sistemas autônomos representa uma das transformações tecnológicas mais profundas do século XXI, redefinindo não apenas a interação humana com o ambiente digital, mas também remodelando cadeias produtivas, modelos de negócio e a própria estrutura da economia global. Conforme destacado por Schoueri (2018) e detalhado no Roteiro sobre IoT, a IoT transcende a mera conectividade de dispositivos, estabelecendo uma rede complexa onde objetos físicos coletam, processam e trocam dados, muitas vezes de forma autônoma, gerando valor através de serviços inovadores e insights baseados em dados massivos (Big Data). Essa revolução, impulsionada por avanços em sensores, conectividade (como 5G), computação em nuvem e inteligência artificial, permeia setores tão diversos quanto a Indústria 4.0, cidades inteligentes, saúde digital, agronegócio e logística, criando um ecossistema digital intrincado e de valor econômico crescente¹.

Contudo, a velocidade e a complexidade dessa transformação digital impõem desafios significativos aos sistemas jurídicos e, em particular, aos regimes tributários existentes. A legislação tributária brasileira, concebida em grande parte antes da consolidação da economia digital, demonstra dificuldades em acompanhar a natureza multifacetada e, por vezes, intangível das operações envolvendo IoT. A linha tênue entre fornecimento de hardware, licenciamento de software, prestação de serviços de conectividade, processamento de dados e acesso a plataformas gera inúmeras controvérsias quanto à correta classificação da operação, à definição da competência tributária, União, Estados ou Municípios, e à identificação do fato gerador, da base de cálculo e do sujeito passivo dos tributos incidentes, notadamente o Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISS) e o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).

¹ ANTÓN ANTÓN, Álvaro; DEL BLANCO GARCÍA, Álvaro Jesús. The Internet of Things in Tax Law. *Crónica Tributaria*, n. 182, p. 151-205, 2022. Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional. EUI.

Diante desse cenário de incerteza e complexidade, emerge o problema central desta pesquisa, formulado conforme as diretrizes metodológicas para a construção de um problema de pesquisa cientificamente abordável:

Qual o tratamento tributário mais adequado para as complexas operações envolvendo a Internet das Coisas no ordenamento jurídico brasileiro, considerando os desafios impostos pela legislação do ISS e do ICMS, as experiências internacionais e a necessidade de conciliar segurança jurídica, capacidade arrecadatória e fomento à inovação tecnológica?

A investigação parte da hipótese, de que a legislação tributária brasileira atual, especialmente no que tange ao ISS (Lei Complementar nº 116/2003) e ao ICMS, é insuficiente e inadequada para abranger a complexidade das operações de IoT, resultando em significativa insegurança jurídica, bitributação e potenciais entraves ao desenvolvimento do setor. Argumenta-se que uma abordagem mais eficiente demandaria reformas legislativas que superem a dicotomia tradicional bem/serviço, focando na essência econômica da operação, com critérios claros para a definição do fato gerador e da base de cálculo, inspirando-se em modelos internacionais que buscam neutralidade e adaptação à economia digital.

A justificativa para este estudo reside na premente necessidade de clareza e adequação do sistema tributário frente a um setor tecnológico de importância estratégica para o desenvolvimento econômico e social do Brasil, conforme reconhecido, ainda que timidamente, pelo Plano Nacional de IoT (Decreto nº 9.854/2019). A insegurança jurídica atual não apenas onera as empresas que atuam ou pretendem atuar no mercado de IoT, mas também dificulta a fiscalização pela administração tributária e pode gerar litígios prolongados e custosos. A análise aprofundada do tema, à luz da doutrina, da jurisprudência como as ADIs 1945 e 5659 e das experiências internacionais² torna-se crucial para subsidiar debates acadêmicos e legislativos que visem a construção de um marco tributário mais justo, eficiente e propício à inovação.

² PITMAN, Arthur Leite da Cruz. *Estudos tributários sobre a economia digital: IoT*. São Paulo:

O objetivo geral desta monografia é, portanto, analisar criticamente o panorama da tributação incidente sobre a Internet das Coisas e os sistemas autônomos no Brasil, identificando os principais desafios e propondo diretrizes para uma maior adequação do sistema tributário a essa nova realidade econômica e tecnológica. Para alcançar este fim, estabelecem-se os seguintes objetivos específicos:

Conceituar e caracterizar a Internet das Coisas e os sistemas autônomos, detalhando sua arquitetura, aplicações e modelos de negócio emergentes; Analisar os fundamentos da tributação na era digital e o marco legal brasileiro aplicável (ISS, ICMS, IPI), com ênfase nas controvérsias doutrinárias e jurisprudenciais sobre a tributação de software, serviços digitais e operações complexas; Realizar uma análise comparada da tributação da IoT em perspectiva internacional, examinando modelos adotados por outros países e as discussões em fóruns como a OCDE; Avaliar a adequação da legislação tributária brasileira atual frente às especificidades das operações de IoT, identificando lacunas e pontos de conflito; Propor diretrizes e sugestões legislativas (lege ferenda) para aprimorar a tributação da IoT no Brasil, buscando conciliar segurança jurídica, neutralidade, capacidade arrecadatória e estímulo à inovação.

2. A REVOLUÇÃO DA INTERNET DAS COISAS E OS SISTEMAS AUTÔNOMOS: CONCEITOS FUNDAMENTAIS E IMPLICAÇÕES TECNOLÓGICAS

A emergência da Internet das Coisas (IoT) e dos sistemas autônomos configura um ponto de inflexão na história da tecnologia, comparável em impacto à própria invenção da internet ou à revolução industrial. Não se trata apenas de conectar mais dispositivos à rede mundial de computadores, mas de tecer uma malha ubíqua e inteligente onde o mundo físico e o digital se fundem de maneira inédita, gerando transformações socioeconômicas profundas. Como explorado ao decorrer desta pesquisa, a IoT pode ser compreendida como um ecossistema tecnológico complexo e dinâmico onde objetos do cotidiano desde eletrodomésticos, “wearables” e veículos até maquinário industrial, infraestrutura urbana e sensores ambientais – são equipados com identificadores únicos

(como endereços IP ou tags RFID), sensores para capturar dados do ambiente físico (temperatura, localização, movimento, etc.), atuadores para agir sobre esse ambiente (ligar/desligar, ajustar, mover), software embarcado para processamento local e controle, e conectividade para trocar informações com outros objetos ou sistemas centralizados, frequentemente com mínima ou nenhuma intervenção humana direta. Essa interconexão massiva e a capacidade de coleta e troca de dados em tempo real são a base para a criação de novos serviços, a otimização de processos existentes e a geração de insights valiosos a partir da análise de grandes volumes de dados (Big Data).

2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA E TECNOLÓGICA: DA COMPUTAÇÃO UBÍQUA À IoT MASSIVA

A visão de um mundo onde a computação estaria integrada de forma invisível ao ambiente remonta a conceitos como a computação ubíqua (Mark Weiser, início dos anos 90) e a computação pervasiva. A ideia de conectar objetos físicos à internet ganhou força com o trabalho pioneiro de Kevin Ashton no final dos anos 90, que cunhou o termo "Internet of Things" no contexto da aplicação de tecnologia RFID (Radio-Frequency Identification) na gestão de cadeias de suprimentos. Paralelamente, a comunicação máquina-a-máquina (M2M) evoluía, focada em conectar dispositivos específicos para telemetria e controle remoto em nichos industriais. Contudo, foi a convergência de múltiplos avanços tecnológicos nas últimas duas décadas que permitiu a transição desses conceitos para a realidade massiva e multifacetada da IoT atual.

Os principais vetores dessa aceleração incluem:

- **Sensores:** A miniaturização, o barateamento e a diversificação dos sensores (MEMS - Micro-Electro-Mechanical Systems, sensores ópticos, químicos, biológicos, etc.) tornaram viável equipar uma vasta gama de objetos com capacidade de percepção do ambiente.
- **Conectividade:** O desenvolvimento de protocolos de comunicação sem fio de curto alcance (Bluetooth Low Energy - BLE, Zigbee, Z-Wave) e longo alcance (Wi-Fi, redes celulares 3G/4G/5G) foi crucial. Mais

recentemente, tecnologias LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) como LoRaWAN, Sigfox e NB-IoT (Narrowband IoT) surgiram para atender às necessidades específicas de dispositivos IoT que requerem baixo consumo de energia, longo alcance e baixo custo de conexão, permitindo a conexão de bilhões de dispositivos de forma economicamente viável.

- **Processamento e Armazenamento:** A Lei de Moore impulsionou a capacidade de processamento embarcado nos próprios dispositivos (edge computing), enquanto a ascensão da computação em nuvem (cloud computing) ofereceu capacidade virtualmente ilimitada e escalável para armazenamento e processamento centralizado dos dados coletados pela vasta rede de dispositivos IoT.
- **Identificação Única:** A transição para o protocolo IPv6 expandiu enormemente o espaço de endereçamento IP, tornando possível atribuir um endereço único a um número virtualmente ilimitado de objetos conectados.
- **Inteligência Artificial e Análise de Dados:** Os avanços em IA, especialmente em aprendizado de máquina (machine learning) e deep learning, forneceram as ferramentas necessárias para extrair significado e valor dos imensos volumes de dados heterogêneos gerados pela IoT (Big Data Analytics), transformando dados brutos em informações acionáveis e insights preditivos.

2.2. SISTEMAS AUTÔNOMOS: A INTELIGÊNCIA EM AÇÃO

Intimamente ligados à IoT, e muitas vezes dependentes dela para sua percepção do mundo, estão os Sistemas Autônomos. Estes sistemas são caracterizados pela capacidade de operar e tomar decisões sem intervenção humana direta, baseando-se em algoritmos, regras pré-definidas ou, cada vez mais, em modelos de inteligência artificial. A autonomia não é um conceito binário, autônomo ou não autônomo, mas sim um espectro que varia desde a automação simples, voltada a execução de tarefas repetitivas pré-programadas,

até a autonomia completa, capacidade de adaptação, aprendizado e tomada de decisão complexa em ambientes dinâmicos e incertos.

A taxonomia de níveis de autonomia é frequentemente utilizada, especialmente no contexto de veículos autônomos (Níveis 0 a 5 da SAE International), mas o conceito se aplica a diversos domínios. Um termostato inteligente que ajusta a temperatura com base em padrões aprendidos exibe um nível básico de autonomia. Um robô industrial que colabora com humanos em uma linha de montagem (cobot), adaptando seus movimentos para evitar colisões, demonstra um nível mais elevado. Drones que realizam inspeções de infraestrutura ou entregas de forma autônoma, navegando por ambientes complexos, e algoritmos que gerenciam portfólios de investimento ou otimizam redes de energia em tempo real representam níveis ainda mais avançados.

A sinergia entre IoT e sistemas autônomos é fundamental: a IoT fornece a vasta rede de sensores que capturam os dados do mundo real (a "percepção" do sistema), a conectividade que transmite esses dados, e as plataformas de processamento que os analisam. Os sistemas autônomos, por sua vez, utilizam esses dados e insights para tomar decisões e interagir com o mundo físico através de atuadores, fechando um ciclo contínuo de percepção-decisão-ação.

Essa interação é a base para aplicações transformadoras como veículos totalmente autônomos, gestão autônoma de infraestruturas críticas e sistemas de defesa autônomos.

2.3. ARQUITETURA DA IOT: CAMADAS DE FUNCIONALIDADE

Embora não exista um modelo de arquitetura universalmente padronizado para a IoT, uma abordagem em camadas é frequentemente utilizada para descrever as diferentes funcionalidades envolvidas. Uma representação comum, adaptada de diversas fontes³⁴, inclui:

³

⁴ SCHOUEIRI, Luís Eduardo. *Tributação na Economia Digital: Desafios e Soluções*. São Paulo: Saraiva, 2018.

1. **Camada de Percepção/Dispositivos (Edge Layer):** A base da arquitetura, composta pelos "objetos" ou "coisas" físicas equipadas com sensores (para coletar dados como temperatura, umidade, luz, som, localização, aceleração, imagens, etc.) e/ou atuadores (motores, válvulas, relés, displays, etc., para agir sobre o ambiente). Inclui também tecnologias de identificação como RFID e NFC. O processamento inicial de dados (filtragem, agregação) pode ocorrer nesta camada (edge computing).
2. **Camada de Rede/Conectividade (Connectivity Layer):** Responsável por transmitir os dados coletados pelos dispositivos para sistemas de processamento e por enviar comandos de volta aos atuadores. Utiliza uma vasta gama de tecnologias de comunicação, escolhidas conforme os requisitos da aplicação (alcance, largura de banda, consumo de energia, latência): redes pessoais (WPAN) como Bluetooth e Zigbee; redes locais (WLAN) como Wi-Fi; redes de longa distância (WAN) como redes celulares (2G, 3G, 4G/LTE, 5G) e redes LPWAN (LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT); e comunicação por satélite.
3. **Camada de Processamento/Plataforma (Platform/Cloud Layer):** O "cérebro" do sistema IoT. Recebe os dados brutos das camadas inferiores, armazena-os (frequentemente em data lakes ou bancos de dados NoSQL projetados para Big Data), processa-os (limpeza, normalização, agregação) e realiza análises (descritivas, diagnósticas, preditivas, prescritivas) utilizando ferramentas de Big Data Analytics e algoritmos de IA/Machine Learning. As Plataformas IoT (IoT Platforms), geralmente hospedadas na nuvem (AWS IoT, Azure IoT Hub, Google Cloud IoT), oferecem um conjunto de serviços gerenciados para facilitar o desenvolvimento e a operação de soluções IoT, incluindo gerenciamento de dispositivos, segurança, armazenamento, análise e APIs.
4. **Camada de Aplicação (Application Layer):** A interface final com o usuário ou com outros sistemas empresariais (ERP, CRM). Apresenta os dados processados e os insights gerados de forma útil e acionável,

através de dashboards, relatórios, alertas ou integrando-se a processos de negócio específicos. É nesta camada que o valor final da solução IoT é entregue, habilitando serviços como monitoramento remoto, controle inteligente, otimização de processos, manutenção preditiva, etc.

É importante notar a crescente importância do Edge Computing e do Fog Computing como extensões ou complementos a essa arquitetura em camadas. O Edge Computing refere-se ao processamento de dados realizado nos próprios dispositivos ou em gateways próximos a eles, reduzindo a latência, economizando largura de banda e permitindo operação mesmo com conectividade intermitente. O Fog Computing representa uma camada intermediária entre o Edge e a Nuvem, distribuindo capacidade de processamento e armazenamento mais perto da origem dos dados.

2.4. APLICAÇÕES PRÁTICAS E SETORIAIS: A TRANSFORMAÇÃO EM CURSO

A Internet das Coisas (IoT) está profundamente transformando diversos setores da economia ao conectar objetos físicos à rede e permitir a coleta, transmissão e análise de dados em tempo real.

Na indústria, dentro do contexto da Indústria 4.0, sensores instalados em máquinas permitem o monitoramento contínuo do desempenho e das condições operacionais, possibilitando a implementação da manutenção preditiva. Com isso, evitam-se paradas não planejadas e perdas na produção. Além disso, há uma otimização no consumo de energia e maior controle de qualidade por meio de sistemas automatizados. Robôs conectados e colaborativos, conhecidos como cobots, aumentam a flexibilidade das linhas de produção e tornam os processos mais eficientes. A logística interna e a visibilidade da cadeia de suprimentos também se beneficiam com o uso de tecnologias como RFID e GPS, que permitem rastrear insumos e produtos com precisão.

No campo das cidades inteligentes (smart cities), a IoT viabiliza soluções para os desafios urbanos contemporâneos. Sensores de tráfego integram sistemas de gestão de mobilidade, otimizando o funcionamento de semáforos e

rotas do transporte público. Medidores inteligentes, os chamados smart meters, permitem o gerenciamento eficiente do consumo de energia elétrica e de água. Sistemas de iluminação pública se ajustam automaticamente conforme a demanda, reduzindo custos e desperdícios. Até mesmo a coleta de resíduos sólidos é aprimorada por meio de lixeiras conectadas que indicam o momento adequado para o esvaziamento. Além disso, câmeras e sensores integrados a centros de controle contribuem significativamente para a segurança pública e para a resposta rápida a emergências.

Na área da saúde, a Internet das Coisas Médicas (IoMT) tem proporcionado avanços relevantes. Dispositivos vestíveis, como smartwatches e pulseiras fitness, bem como sensores implantáveis, realizam a monitoração contínua de sinais vitais, como batimentos cardíacos e níveis de glicose, permitindo o acompanhamento remoto de pacientes, especialmente aqueles com doenças crônicas. Sensores instalados em residências auxiliam idosos e pessoas com mobilidade reduzida, com funcionalidades como a detecção automática de quedas e lembretes de medicação. Em ambientes hospitalares, equipamentos conectados, como bombas de infusão e ventiladores, permitem um monitoramento centralizado e a gestão mais eficiente dos ativos hospitalares.

O agronegócio também tem incorporado intensivamente soluções de IoT, consolidando o conceito de agricultura inteligente. Sensores instalados no solo, além de drones, monitoram variáveis como umidade, nutrientes, temperatura e a saúde das plantas. Tais informações permitem a adoção de práticas de irrigação e fertilização de precisão, reduzindo desperdícios e aumentando a produtividade. Sistemas de rastreamento monitoram rebanhos e equipamentos agrícolas, enquanto a integração de dados climáticos e de mercado auxilia produtores na tomada de decisões mais informadas.

No setor varejista, a IoT tem transformado tanto a experiência do consumidor quanto a gestão operacional. Sensores instalados nas prateleiras possibilitam o monitoramento em tempo real dos níveis de estoque. Dispositivos beacon podem enviar promoções personalizadas diretamente aos smartphones dos clientes dentro da loja, melhorando a experiência de compra. Sistemas de análise de vídeo ajudam a entender os padrões de comportamento do

consumidor e o fluxo de pessoas, enquanto etiquetas RFID agilizam os processos de checkout e reforçam os mecanismos de prevenção de perdas.

O setor de transporte e logística também tem sido profundamente impactado. Sensores embarcados em veículos monitoram o desempenho, localização e comportamento do condutor, por meio de sistemas de telemetria. Isso permite a otimização de rotas, do consumo de combustível e das manutenções preventivas. Contêineres e cargas conectados podem ser rastreados em tempo real, inclusive quanto às suas condições internas, como temperatura e umidade. Veículos conectados, por sua vez, trocam informações entre si e com a infraestrutura urbana (V2X – Vehicle-to-Everything), promovendo maior segurança viária e eficiência no tráfego, e preparando o terreno para a chegada dos veículos autônomos.

No setor energético, a IoT permite a consolidação das redes inteligentes (smart grids), onde medidores inteligentes possibilitam a leitura remota, o faturamento preciso e o gerenciamento da demanda. Sensores instalados ao longo da rede elétrica identificam falhas, redistribuem o fluxo de energia e integram de forma eficiente fontes renováveis e distribuídas, como a solar e a eólica. Esse controle dinâmico é fundamental para a modernização do setor elétrico e para a sustentabilidade ambiental.

Por fim, no ambiente doméstico, a chamada casa inteligente (smart home) torna-se realidade por meio de dispositivos conectados, como termostatos, lâmpadas, fechaduras, eletrodomésticos e sistemas de segurança. Esses dispositivos podem ser controlados remotamente por meio de smartphones, ou ainda automatizados de acordo com as preferências do usuário e as condições ambientais, promovendo conforto, segurança e eficiência energética.

Em todos esses exemplos, o valor gerado transcende a funcionalidade básica do objeto conectado. A coleta e análise dos dados permitem otimizações, previsões, personalização e a criação de serviços inteiramente novos, muitas vezes baseados em modelos de assinatura ou pagamento por uso, em vez da venda única do produto.

2.5. MODELOS DE NEGÓCIO EMERGENTES E A CADEIA DE VALOR DA IoT

A IoT está catalisando uma mudança significativa nos modelos de negócio, afastando-se da venda transacional de produtos para modelos baseados em serviços e resultados. A "servitização", onde fabricantes oferecem seus produtos como um serviço (Product-as-a-Service - PaaS), é uma tendência crescente. Exemplos incluem motores de avião cobrados por hora de voo e não pela venda do motor, ou equipamentos industriais oferecidos com garantia de uptime baseada em monitoramento contínuo via IoT. Nesses modelos, o valor reside na disponibilidade, no desempenho e nos insights gerados pelos dados, e não apenas no ativo físico.

Além das aplicações práticas da Internet das Coisas (IoT) em diversos setores econômicos, os modelos de negócio baseados nessa tecnologia vêm se diversificando de forma significativa, impulsionando a consolidação de um ecossistema digital multifacetado. Entre os modelos emergentes, destaca-se o formato de *Plataforma como Serviço* (PaaS), no qual empresas especializadas oferecem plataformas de software em nuvem destinadas à construção, desenvolvimento e gerenciamento de aplicações IoT por terceiros. Essas plataformas fornecem ferramentas fundamentais, como infraestrutura escalável, ambientes de desenvolvimento integrados e recursos analíticos, viabilizando a rápida implementação de soluções conectadas por empresas de diferentes setores.

Outro modelo relevante é o *Dado como Serviço* (DaaS), no qual empresas coletam, processam, anonimizam e agregam dados provenientes de múltiplas fontes IoT, como sensores urbanos, dispositivos domésticos e sistemas industriais, para, posteriormente, comercializá-los ou fornecer insights derivados a terceiros. Esses dados podem ser utilizados para fins diversos, como o planejamento urbano, a análise de comportamento do consumidor ou a elaboração de estudos de mercado, tornando-se um ativo estratégico para empresas e governos.

Modelos de monetização do tipo *freemium/premium* também têm se consolidado no contexto da IoT. Nessa lógica, os usuários têm acesso gratuito a

funcionalidades básicas de um dispositivo conectado, sendo cobrados apenas pelo desbloqueio de recursos adicionais, capacidade avançada de análise, armazenamento expandido ou integrações com outras plataformas. Trata-se de uma estratégia que visa estimular a adesão inicial dos consumidores e, posteriormente, promover a conversão para versões pagas por meio da oferta de valor agregado.

Adicionalmente, surgem os chamados *marketplaces de IoT*, que funcionam como plataformas intermediárias conectando diferentes elos da cadeia produtiva: desenvolvedores de soluções, fabricantes de hardware, provedores de conectividade e consumidores finais. Esses ambientes digitais facilitam a interoperabilidade entre componentes, aceleram o tempo de entrada no mercado e fomentam a inovação colaborativa, funcionando como verdadeiros ecossistemas tecnológicos.

A cadeia de valor da IoT, por sua vez, é notoriamente complexa e fragmentada, envolvendo múltiplos agentes altamente especializados que atuam em diferentes etapas do desenvolvimento, produção e comercialização das soluções conectadas⁵. No início dessa cadeia estão os fabricantes de componentes, responsáveis pela produção de semicondutores, sensores e módulos de conectividade que constituem a base dos dispositivos IoT. Em seguida, os fabricantes de dispositivos ou OEMs (Original Equipment Manufacturers), integram esses componentes para criar os objetos finais, como smartwatches, termostatos inteligentes, câmeras conectadas, entre outros.

Os provedores de conectividade também exercem papel essencial nesse ecossistema, oferecendo a infraestrutura de rede necessária para a transmissão de dados entre dispositivos e plataformas. Esse grupo abrange desde as tradicionais operadoras de telecomunicações (MNOs e MVNOs) até

⁵ ANTÓN ANTÓN, Álvaro; DEL BLANCO GARCÍA, Álvaro Jesús. The Internet of Things in Tax Law. *Crónica Tributaria*, n. 182, p. 151-205, 2022. Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional. EUI.

fornecedores de redes especializadas de baixa potência e longo alcance (LPWAN), bem como operadores de satélite para áreas remotas.

No campo do software, os provedores de plataformas IoT como AWS, Microsoft Azure, Google Cloud, Siemens MindSphere e PTC ThingWorx, oferecem soluções de gerenciamento, armazenamento e análise de dados, servindo como ambiente central para a operação e orquestração dos sistemas conectados. Atuando de forma complementar, os desenvolvedores de software criam o código embarcado nos dispositivos, as aplicações analíticas e as interfaces de usuário que tornam a interação com os sistemas mais acessível e funcional.

Outro elo importante são os integradores de sistemas, empresas que reúnem soluções de hardware, software e serviços de diferentes fornecedores para entregar projetos personalizados e completos aos clientes finais. Essas empresas assumem papel estratégico ao garantir a interoperabilidade e a eficiência das soluções em contextos específicos. Por fim, encontram-se os provedores de serviços finais, que utilizam a infraestrutura e os sistemas IoT para oferecer produtos ou serviços diretamente ao consumidor, seja no setor de segurança, saúde, logística, energia ou outros.

A natureza global, distribuída e interdependente dessa cadeia de valor apresenta desafios significativos para os sistemas tributários, sobretudo no que tange à identificação da materialidade tributável, dos sujeitos passivos, da territorialidade e da alocação de receitas. A multiplicidade de atores, cada um contribuindo com bens tangíveis, software, serviços ou dados e a sobreposição de jurisdições e competências tornam a análise tributária particularmente complexa, como será aprofundado no Capítulo 2 deste trabalho.

2.6. DESAFIOS TECNOLÓGICOS, ÉTICOS E SOCIAIS

Apesar do imenso potencial transformador da Internet das Coisas (IoT), sua expansão enfrenta uma série de desafios críticos que precisam ser enfrentados para garantir uma adoção segura, sustentável e socialmente responsável dessa tecnologia. Entre as principais preocupações, a segurança

cibernética desponta como um dos pontos mais sensíveis. A proliferação de bilhões de dispositivos conectados, muitos com capacidade computacional limitada e sem atualizações regulares de segurança, cria uma vasta superfície de ataque para agentes maliciosos. Tais dispositivos tornam-se alvos atrativos para cibercriminosos, podendo ser sequestrados e utilizados em ataques coordenados como os perpetrados por botnets do tipo *Mirai* ou explorados para roubo de dados sensíveis, espionagem industrial ou mesmo sabotagem de sistemas físicos essenciais, como infraestrutura crítica ou veículos autônomos. A garantia de segurança ponta-a-ponta, que abrange desde o dispositivo até a aplicação em nuvem, passando por redes de comunicação e plataformas de gerenciamento, é um desafio técnico permanente, exigindo soluções robustas e evolutivas.

A privacidade dos usuários também é uma preocupação central, sobretudo diante da coleta massiva e contínua de dados por dispositivos IoT que operam em contextos altamente íntimos, como residências, veículos e até mesmo o corpo humano. Essa realidade levanta importantes questionamentos sobre o controle e a finalidade dos dados coletados: quem os detém? Com que objetivos são utilizados? Como garantir que o titular dos dados tenha consciência clara e controle efetivo sobre o uso de suas informações pessoais? A conformidade com marcos regulatórios como a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), no Brasil, e o Regulamento Geral de Proteção de Dados (GDPR), na União Europeia, é imprescindível, mas representa um desafio técnico e jurídico substancial, principalmente em razão da heterogeneidade dos dispositivos e da multiplicidade de atores envolvidos no tratamento dos dados.

Outro entrave relevante é a falta de interoperabilidade e padronização entre sistemas e dispositivos. A ausência de normas universais para comunicação, formatação de dados e interfaces de programação (APIs) prejudica a integração de soluções provenientes de diferentes fornecedores, resultando em ecossistemas fragmentados e limitados, marcados por “silos tecnológicos” que dificultam a interoperabilidade e inibem a inovação colaborativa.

A escalabilidade e o gerenciamento operacional de bilhões de dispositivos distribuídos globalmente representam outro desafio expressivo. Manter tais dispositivos atualizados, seguros e operando de forma eficiente exige infraestrutura robusta e capacidade técnica que nem sempre estão ao alcance de empresas de menor porte. Além disso, os custos associados à implementação de soluções IoT que envolvem hardware, conectividade, integração de sistemas, armazenamento e análise de dados ainda são elevados, o que pode limitar o acesso de pequenas e médias empresas a essas tecnologias disruptivas.

Com o avanço da autonomia dos sistemas inteligentes, surgem também complexas questões éticas. À medida que máquinas tomam decisões de forma cada vez mais independente, aumentam os debates em torno da responsabilidade civil por eventuais danos, da previsibilidade das decisões automatizadas e da aceitabilidade social de determinadas escolhas feitas por algoritmos. Exemplos emblemáticos incluem os dilemas morais enfrentados por veículos autônomos em situações de risco iminente à vida, popularmente conhecidos como “dilemas do bonde”, que ilustram o conflito entre eficiência tecnológica e valores humanos.

A disseminação equitativa dos benefícios da IoT também impõe o desafio da inclusão digital. É imperativo garantir que a expansão dessas tecnologias não reforce desigualdades sociais e regionais, assegurando o acesso universal à conectividade e à capacitação tecnológica. A exclusão digital, caso não seja adequadamente enfrentada, pode resultar na marginalização de populações inteiras frente à economia digital emergente.

Diante desse conjunto de obstáculos, torna-se evidente que a superação dos desafios impostos pela IoT exige esforços coordenados e multidisciplinares, envolvendo pesquisa científica, desenvolvimento tecnológico, padronização de protocolos, regulamentação jurídica adequada e, sobretudo, conscientização social. A compreensão profunda dessa base conceitual e técnica e dos riscos a ela inerentes constitui o alicerce indispensável para a análise das complexas problemáticas tributárias que emergem da IoT. Essa análise, por sua vez, será desenvolvida nos próximos capítulos desta monografia, com foco nas tensões

interpretativas, lacunas legislativas e conflitos de competência que permeiam a tributação da economia digital no Brasil.

3. FUNDAMENTOS DA TRIBUTAÇÃO NA ERA DIGITAL E O MARCO LEGAL BRASILEIRO

A adequada tributação da Internet das Coisas (IoT) no Brasil não pode ser analisada de maneira isolada ou desconectada do cenário mais amplo da economia digital e de seus reflexos sobre os sistemas tributários contemporâneos. A ascensão de modelos de negócio baseados em serviços digitais, ativos intangíveis e operações transfronteiriças tem provocado uma profunda reconfiguração nas bases tradicionais de tributação, desafiando as estruturas jurídicas concebidas para uma economia industrial, predominantemente tangível e territorialidade. No Brasil, esse cenário é particularmente sensível em razão das características do sistema tributário nacional, marcado pela rigidez conceitual, pela fragmentação de competências entre os entes federativos e por um modelo normativo fortemente atrelado à tipificação formal dos fatos econômicos.

Nesse contexto, a tributação da IoT deve ser compreendida como parte de um conjunto mais amplo de tensões que envolvem a adaptação do direito tributário à nova realidade econômica e tecnológica. A transição de uma economia centrada na produção e circulação de bens materiais para uma economia digital, intensiva em dados, algoritmos e serviços desmaterializados, pressiona os fundamentos constitucionais e legais que sustentam a atual distribuição de competências tributárias e a incidência dos principais tributos sobre o consumo. A dificuldade em classificar juridicamente operações complexas e híbridas, que envolvem simultaneamente fornecimento de hardware, licenciamento de software, prestação de serviços e tratamento de dados, revela não apenas a insuficiência das categorias normativas vigentes, mas também a necessidade de uma interpretação mais funcional e econômica da legislação tributária.

Este capítulo, dedica-se à revisão dos fundamentos constitucionais da tributação no Brasil, com especial atenção à repartição de competências entre União, Estados e Municípios e à delimitação das materialidades tributáveis no campo do consumo. Serão analisadas, de forma crítica, as hipóteses de incidência do Imposto sobre Serviços (ISS), do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) nas operações digitais, com destaque para os embates interpretativos e jurisprudenciais que cercam a definição do núcleo essencial dessas obrigações tributárias.

Particular atenção será conferida às controvérsias específicas que emergem da tentativa de enquadramento da IoT nas molduras tributárias existentes. Trata-se de um fenômeno que, por sua própria natureza multifacetada e transversal, desafia a segmentação tradicional entre mercadoria e serviço, produto e suporte, físico e digital, nacional e internacional. A análise crítica dessas controvérsias servirá de base para a compreensão dos riscos de bitributação, da insegurança jurídica para os contribuintes e da necessidade de atualização normativa, que serão aprofundados nos capítulos subsequentes desta monografia.

3.1. PRINCÍPIOS CONSTITUCIONAIS TRIBUTÁRIOS NA ERA DIGITAL: REINTERPRETAÇÕES NECESSÁRIAS

A Constituição Federal de 1988 estabelece um complexo sistema tributário, alicerçado em princípios que visam garantir a segurança jurídica, a justiça fiscal e o equilíbrio federativo. A aplicação desses princípios à economia digital, contudo, exige uma reinterpretação cuidadosa para evitar que se tornem letra morta ou instrumentos de distorção.

O Princípio da Legalidade Estrita presente no Art. 150, I, da Constituição, pedra angular do Direito Tributário que exige lei em sentido formal para instituir ou majorar tributos, é particularmente desafiado pela velocidade da inovação

tecnológica. Como bem adverte Hugo de Brito Machado⁶, a legalidade visa proteger o contribuinte contra o arbítrio do Fisco, garantindo previsibilidade. No entanto, a criação constante de novos modelos de negócio e serviços digitais, como os diversos arranjos de IoT, muitas vezes não encontra correspondência exata nos tipos legais existentes. A tentação do Fisco de realizar interpretações extensivas ou aplicar analogias para alcançar essas novas realidades, embora compreensível sob a ótica arrecadatória, colide frontalmente com a segurança jurídica. A subsunção de um serviço complexo de IoT, que envolve hardware, software, conectividade e análise de dados, a um item genérico da lista de serviços do ISS, por exemplo, pode carecer da especificidade exigida pelo princípio da legalidade, gerando litígios sobre a própria validade da exigência fiscal. A solução não reside em flexibilizar a legalidade, mas em atualizar a legislação de forma clara e precisa, acompanhando, na medida do possível, a evolução tecnológica.

A Capacidade Contributiva (art. 145, §1º, CF/88), princípio que materializa a justiça fiscal ao determinar que os impostos devem ser graduados segundo a possibilidade econômica do contribuinte, também encontra obstáculos na economia digital. Identificar e mensurar a real capacidade econômica em operações de IoT é intrinsecamente complexo. O valor de uma solução IoT reside frequentemente não apenas no custo do hardware ou do software, mas no valor intangível dos dados coletados, dos insights gerados pela análise desses dados e da eficiência ou conveniência proporcionada pelo serviço integrado. Como mensurar objetivamente esse valor agregado, especialmente quando envolve múltiplos atores em cadeias globais e fluxos de dados transfronteiriços? A dificuldade em isolar a contribuição de cada agente e em valorar ativos intangíveis como dados pode levar a uma tributação que se

⁶ MACHADO, Hugo de Brito. *Direito Tributário Aplicado à Economia Digital*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Forense, 2021.

descola da efetiva capacidade de pagar, onerando desproporcionalmente alguns elos da cadeia ou falhando em alcançar a real manifestação de riqueza gerada⁷.

O Princípio da Não-Cumulatividade, essencial para o ICMS (art. 155, §2º, I) e o IPI (art. 153, §3º, II), e aplicável ao PIS/COFINS no regime não-cumulativo, visa evitar a tributação em cascata, onerando apenas o valor agregado em cada etapa da cadeia econômica. Sua aplicação a serviços digitais e operações de IoT, no entanto, é repleta de controvérsias. No âmbito do ICMS, a dificuldade reside em caracterizar os componentes de uma solução IoT (hardware, software, dados, serviços de conectividade) como insumos que geram direito ao crédito. A legislação estadual é frequentemente restritiva, limitando o crédito a bens que se integram fisicamente ao produto final ou são consumidos diretamente no processo produtivo, o que dificilmente se aplica a softwares ou serviços de análise de dados essenciais para uma solução IoT. No âmbito do ISS, a regra geral é a cumulatividade, o que significa que o imposto pago na etapa anterior não gera crédito, resultando em tributação em cascata em cadeias longas de serviços, como as frequentemente encontradas na IoT (provedor de plataforma, desenvolvedor de aplicação, integrador, prestador final). Essa cumulatividade, como aponta Geraldo Ataliba (1987) em sua crítica aos impostos cumulativos, distorce a estrutura produtiva, incentiva a verticalização artificial das empresas e onera o consumidor final. A ausência de mecanismos eficazes de não-cumulatividade para a complexa cadeia da IoT é um entrave significativo à sua competitividade.

A aplicação efetiva desses princípios na era digital demanda, portanto, uma postura ativa do legislador e do intérprete, buscando adaptar os conceitos tradicionais à nova realidade, sem, contudo, esvaziar o conteúdo protetivo dessas garantias fundamentais do contribuinte.

3.2. COMPETÊNCIA TRIBUTÁRIA E CONFLITOS FEDERATIVOS: A DISPUTA PELO FATO GERADOR DIGITAL

⁷ SCHOUERI, Luís Eduardo. *Tributação na Economia Digital: Desafios e Soluções*. São Paulo: Saraiva, 2018.

A repartição constitucional de competências tributárias entre União, Estados e Municípios (arts. 153 a 156, CF/88) é uma das maiores fontes de complexidade e litigiosidade no sistema tributário brasileiro, e a economia digital exacerbou esses conflitos. A IoT, por sua natureza híbrida e multifacetada, situa-se frequentemente na fronteira ou na intersecção das competências estadual (ICMS sobre circulação de mercadorias e serviços de comunicação) e municipal (ISS sobre prestação de serviços).

A operação típica de IoT, como a oferta de um sistema de monitoramento residencial inteligente, envolve o fornecimento de dispositivos, como câmeras, sensores e hardware, o licenciamento de uso de um software, aplicativo de controle, plataforma na nuvem, a prestação de serviços de instalação e manutenção, a conectividade via rede celular ou banda larga e, potencialmente, serviços de análise de dados ou armazenamento de imagens. Sob a ótica da legislação atual, cada um desses componentes poderia, em tese, atrair a incidência de um imposto diferente e a competência de um ente federativo distinto: ICMS sobre os dispositivos (Estado de origem ou destino, dependendo da operação), ISS sobre o software, instalação, manutenção e análise de dados (Município do prestador ou do tomador, dependendo do serviço e da interpretação da lei), e ICMS sobre a conectividade (Estado onde se inicia a prestação do serviço de comunicação).

Essa fragmentação é artificial e economicamente irracional. O consumidor adquire uma solução integrada, e a tentativa de cindir a operação em múltiplos fatos geradores para fins tributários gera enorme complexidade administrativa, custos de conformidade e risco de dupla tributação ou não tributação. A disputa entre Estados e Municípios pela tributação do software, embora parcialmente resolvida pelo STF em favor do ISS nas ADIs 1945 e 5659, demonstra a intensidade desse conflito federativo. A decisão do STF, contudo, focou no software enquanto bem incorpóreo, não abordando diretamente a complexidade das operações mistas que caracterizam a IoT, onde o software é indissociável do hardware e do serviço.

A definição do local da operação para fins de determinação do ente competente agrava o problema. A regra geral do ISS no local do estabelecimento

prestador⁸, favorece municípios que concentram sedes de empresas de tecnologia, em detrimento dos municípios onde os serviços são efetivamente consumidos. As exceções previstas na lei, incluindo as alterações da LC 157/2016 que buscaram deslocar a tributação para o destino em alguns serviços, sendo estes, planos de saúde, administração de cartões, leasing, alguns serviços digitais como streaming. Tais serviços geraram forte reação dos municípios que perderiam arrecadação e levaram a questionamentos no STF.

Para a IoT, a aplicação dessas regras é incerta. Onde se localiza o "tomador" de um serviço de monitoramento remoto via IoT? Onde o dispositivo está instalado? Onde o usuário acessa a plataforma? Onde os dados são processados? A falta de um critério claro e uniforme na LC 116/03 para serviços complexos e desterritorializados como os de IoT perpetua a guerra fiscal e a insegurança jurídica.

No âmbito do ICMS, a definição do local da operação para serviços de comunicação (art. 11, III, LC 87/96) também gera dúvidas quando aplicada à conectividade IoT, especialmente em redes móveis ou LPWAN que cobrem múltiplos estados. A complexidade federativa brasileira, combinada com a natureza transfronteiriça da tecnologia, clama por soluções que transcendam a lógica territorialista tradicional, possivelmente através de mecanismos de partilha de receita ou da adoção definitiva do princípio do destino, como previsto próxima Reforma Tributária.

3.3. INCIDÊNCIA DE IPI, ICMS E ISS SOBRE OPERAÇÕES DIGITAIS E IoT: A COLCHA DE RETALHOS TRIBUTÁRIA

A análise detalhada da incidência dos principais tributos sobre o consumo evidencia a fragmentação normativa e a inadequação estrutural do sistema tributário brasileiro para lidar com a complexidade das operações envolvendo a IoT. A multiplicidade de elementos que compõem uma solução IoT hardware, software, conectividade, armazenamento em nuvem, análise de dados, entre outros, torna difícil a aplicação de categorias tributárias concebidas para

⁸ Art. 3º, caput, LC 116/03

realidades econômicas mais simples e segmentadas. A seguir, examinam-se os principais tributos sobre o consumo, IPI, ICMS e ISS à luz das operações típicas de IoT.

O Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), de competência federal, incide exclusivamente sobre produtos industrializados, sendo sua aplicação no contexto da IoT limitada à comercialização dos dispositivos físicos (hardware), tais como sensores, atuadores e gateways. A incidência ocorre na saída do produto do estabelecimento industrial ou na importação, tendo como base de cálculo o valor do produto, excluídas despesas acessórias como frete. Embora sua aplicação ao componente físico seja relativamente clara, o IPI não alcança os elementos intangíveis da cadeia de valor da IoT, como o software embarcado, os serviços associados ou o valor econômico derivado do tratamento de dados. Com isso, a incidência do IPI acaba sendo parcial e restrita a uma etapa inicial da cadeia, desconsiderando a essência do valor agregado pelas soluções de IoT, que reside em serviços e ativos intangíveis.

Já o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), de competência estadual, apresenta maior complexidade e vem sendo objeto de intensos debates no contexto da economia digital. Tradicionalmente, o ICMS incide sobre a circulação de mercadorias e sobre os serviços de transporte interestadual e intermunicipal, bem como os serviços de comunicação. No que se refere à IoT, sua aplicação se desdobra em três frentes principais: circulação de mercadorias (venda de hardware), licenciamento de software e serviços de conectividade.

A incidência do ICMS sobre o fornecimento de dispositivos físicos depende da possibilidade de dissociação entre a venda do hardware e os serviços ou licenças de software que o acompanham. Se caracterizada uma operação autônoma de venda de mercadoria, o ICMS incidirá sobre o valor da operação. Contudo, nas situações em que o hardware constitui mero suporte de uma solução integrada de serviços, sua tributação via ICMS torna-se juridicamente questionável, sobretudo à luz da jurisprudência recente do Supremo Tribunal Federal (STF), que consolidou o entendimento de que o

licenciamento de software padronizado ou personalizado, configura prestação de serviço sujeita ao ISS⁹.

Essa jurisprudência representa um marco para a tributação da economia digital e possui impacto direto sobre os modelos de negócios baseados em IoT. O STF definiu que o licenciamento ou cessão de direito de uso de software, ainda que acompanhados de suporte técnico, se enquadra como serviço sujeito ao ISS, afastando a incidência do ICMS. Todavia, a modulação dos efeitos da decisão restrita a fatos geradores ocorridos a partir de 1º de março de 2021 e a resistência de alguns Estados em manter legislações conflituosas continuam a gerar insegurança jurídica, especialmente em operações mistas que envolvem simultaneamente software, hardware e serviços.

No tocante aos serviços de comunicação, o ICMS incide sobre os serviços onerosos definidos pela Lei Complementar nº 87/1996. A conectividade dos dispositivos IoT, quando fornecida por operadoras de telecomunicações, se enquadra como serviço de comunicação, atraindo a incidência do imposto estadual. Contudo, surgem controvérsias quando se trata de Serviços de Valor Adicionado (SVA), definidos pela Lei nº 9.472/1997 como atividades que agregam funcionalidades às telecomunicações sem se confundirem com elas como, por exemplo, o provimento de acesso à internet ou de serviços de monitoramento. A jurisprudência predominante afasta a incidência do ICMS sobre os SVA, reconhecendo sua natureza de serviço sujeito ao ISS, o que torna a delimitação entre ambos crucial para a correta tributação das soluções de IoT.

O Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISS), de competência municipal, incide sobre os serviços previstos na Lista Anexa à Lei Complementar nº 116/2003. Apesar da taxatividade da lista, admite-se interpretação extensiva dentro de cada subitem, o que permite alguma flexibilidade na aplicação aos serviços digitais. No caso da IoT, diversos subitens são potencialmente aplicáveis. O Subitem 1.00 (Serviços de Informática e Congêneres) é o mais abrangente, compreendendo desde o licenciamento de software (1.05), até o armazenamento e processamento de dados (1.03), programação (1.02),

⁹ ADIs 1945 e 5659, Tema 590 da Repercussão Geral

elaboração de sistemas (1.01) e suporte técnico (1.07). Soluções IoT que incluem plataformas em nuvem, análise de dados e suporte técnico podem se enquadrar em múltiplos desses subitens.

Além disso, dependendo da aplicação prática da tecnologia, outros subitens podem ser acionados, como aqueles relativos a monitoramento e rastreamento (11.02), segurança (11.03), armazenamento de bens (11.04), serviços de saúde (item 4), engenharia (item 7), ou gestão de eventos (17.01). Essa diversidade ilustra a dificuldade em enquadrar soluções integradas de IoT em apenas um item da lista de serviços, sobretudo quando envolvem hardware incorporado.

A controvérsia sobre a distinção entre obrigação de dar (entrega de mercadoria) e obrigação de fazer (prestação de serviço) torna-se central. Conforme argumentam autores como Schoueri (2018) e Pitman (2018), nas soluções IoT, o valor agregado decorre majoritariamente da prestação de serviços, sendo o hardware um mero instrumento de viabilização. Assim, defende-se a incidência do ISS sobre a totalidade da operação, especialmente quando o fornecimento do dispositivo não pode ser dissociado da prestação do serviço. Essa tese encontra respaldo na jurisprudência do Superior Tribunal de Justiça (STJ), que tem privilegiado a análise da preponderância econômica da obrigação no caso concreto.

No entanto, a aplicação dessa lógica a modelos como Software-as-a-Service (SaaS), Platform-as-a-Service (PaaS) e Infrastructure-as-a-Service (IaaS), frequentemente utilizados em soluções IoT, ainda suscita dúvidas, sobretudo quando envolvem o fornecimento de hardware como parte integrante do serviço. A Lei Complementar nº 116/2003 autoriza a incidência do ISS sobre serviços que envolvam fornecimento de mercadoria, salvo exceções expressas, o que permite, em tese, a tributação integral de uma solução IoT quando o hardware for considerado acessório ao serviço. Ainda assim, essa interpretação pode colidir com a competência estadual para tributar mercadorias por meio do ICMS, o que reforça a necessidade de maior clareza legislativa e segurança jurídica para o setor.

Em síntese, o atual arcabouço tributário brasileiro se revela insuficiente para tratar, de maneira coerente e harmônica, os diversos elementos que compõem as operações com IoT. A sobreposição de incidências, as lacunas normativas e os conflitos de competência entre entes federativos contribuem para um cenário de insegurança jurídica, que demanda reforma legislativa e uniformização interpretativa, sob pena de se comprometer a expansão sustentável e legalmente segura da economia digital no Brasil.

Essa multiplicidade de impostos, regras e interpretações cria uma verdadeira "colcha de retalhos" tributária para a IoT, gerando custos de conformidade elevados, planejamento tributário complexo e alto risco de litígios.

3.4. JURISPRUDÊNCIA RELEVANTE: MARCOS E INCERTEZAS

A jurisprudência dos tribunais superiores, especialmente do STF e STJ, tem sido um fator crucial na definição – ou na manutenção da incerteza – da tributação digital no Brasil. No âmbito do STF, destaca-se a decisão nas ADIs 1945 e 5659, que definiu a incidência exclusiva do ISS sobre operações com software. O Tribunal reconheceu que o software, por constituir bem incorpóreo decorrente de esforço intelectual, configura prestação de serviço, sendo assim, obrigação de fazer, independentemente de sua padronização, personalização ou forma de entrega. Embora tenha representado um avanço para a segurança jurídica e fortalecido a competência municipal, a modulação de efeitos com eficácia a partir de 01/03/2021, ressalvadas ações judiciais anteriores e débitos não pagos, resultante em passivos tributários complexos. Além disso, a decisão não solucionou, de forma explícita, as controvérsias sobre operações mistas envolvendo software e hardware no contexto da IoT.

Ainda no STF, a ADI 5835 discute a constitucionalidade de dispositivos da LC 157/2016 que alteraram o local de incidência do ISS para o município do tomador em diversos serviços. Embora o julgamento tenha sido iniciado, com votos no sentido de exigir definição legislativa complementar para o conceito de "tomador", encontra-se suspenso, perpetuando a insegurança quanto ao local de recolhimento do ISS em serviços digitais, o que pode abranger soluções de IoT.

Outro caso de impacto é o ARE 1189267, Tema 1077, no qual o STF reconheceu a repercussão geral sobre a controvérsia envolvendo a incidência de ICMS ou ISS nos serviços de streaming de áudio e vídeo. Embora ainda pendente de julgamento, essa decisão pode influenciar a tributação de modelos baseados em acesso a conteúdo sob demanda, com reflexos potenciais para a IoT.

No STJ, é relevante o entendimento sobre a distinção entre Serviços de Valor Adicionado (SVA) e serviços de comunicação. Ainda que a Súmula 334 tenha sido cancelada, prevalece a jurisprudência no sentido de que o provimento de acesso à internet não configura serviço de comunicação e, portanto, está sujeito ao ISS, e não ao ICMS. Essa distinção é essencial para o enquadramento de serviços agregados à IoT, especialmente quando a conectividade é prestada por um agente distinto da prestação principal. Além disso, o STJ tem consolidado jurisprudência sobre a interpretação da lista da LC 116/03 e a caracterização de operações mistas, considerando o “núcleo da operação” como critério determinante para a definição da tributação aplicável. Ainda que esse critério busque racionalidade, sua aplicação a modelos disruptivos e integrados como os da IoT mantém elevado grau de insegurança jurídica.

3.5. O DECRETO Nº 9.854/2019: UMA OPORTUNIDADE PERDIDA?

Publicado em junho de 2019, o Decreto nº 9.854 instituiu o Plano Nacional de Internet das Coisas e a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina e Internet das Coisas (Câmara IoT). O plano reconheceu a importância estratégica da IoT para o Brasil e estabeleceu como objetivos gerais "implementar e desenvolver a Internet das Coisas no País, com base na livre concorrência e na livre circulação de dados, observadas as diretrizes de segurança da informação e de proteção de dados pessoais". Definiu áreas prioritárias (saúde, cidades, indústria, agronegócio) e eixos de atuação (capital humano, capacidade de investimento, inovação, regulação, segurança e privacidade).

No eixo "Regulação, Segurança e Privacidade", o plano mencionava a necessidade de "promover a racionalização da carga tributária incidente sobre

os serviços de comunicação máquina a máquina e sobre a Internet das Coisas" e "proporcionar segurança jurídica para o setor".

No entanto, o decreto em si e as ações subsequentes da Câmara IoT foram notavelmente tímidos em relação à questão tributária. Não houve propostas concretas de alteração legislativa, nem diretrizes claras para resolver os conflitos de competência ou as dificuldades de enquadramento. A "racionalização tributária" ficou no campo das intenções, sem se traduzir em medidas efetivas. Como apontado por Pitman¹⁰ em análise prévia à publicação do decreto, a falta de uma abordagem tributária robusta seria um ponto fraco do plano, o que se confirmou. O Plano Nacional de IoT, embora meritório em seu diagnóstico e em outras áreas, representou uma oportunidade perdida para endereçar de forma coordenada e estratégica um dos maiores gargalos para o desenvolvimento da IoT no Brasil: a complexidade e a insegurança de seu regime tributário.

3.6. DESAFIOS NA DEFINIÇÃO DOS ELEMENTO DA OBRIGAÇÃO TRIBUTÁRIA NA IoT

A aplicação da estrutura dogmática da obrigação tributária composta por fato gerador, base de cálculo, sujeito passivo e alíquota às operações envolvendo a IoT revelam a profunda inadequação do sistema tributário nacional diante das novas realidades tecnológicas. Cada um desses elementos encontra barreiras conceituais e práticas quando transposto para o contexto de soluções digitais integradas, multicomponentes e dinâmicas, como as que caracterizam a IoT.

O primeiro ponto de tensão se manifesta na identificação do fato gerador. Em modelos tradicionais, o fato gerador ocorre de forma instantânea e precisa, como a venda de uma mercadoria ou a prestação de um serviço em momento determinado. No entanto, nas soluções de IoT, a pluralidade de eventos economicamente relevantes desafia a definição da hipótese de incidência. Seria o fato gerador a comercialização do dispositivo físico? A instalação e ativação

¹⁰ PITMAN, Arthur Leite da Cruz. *Estudos tributários sobre a economia digital: IoT*. São Paulo:

do equipamento? O início da assinatura de um serviço digital? Ou ainda a efetiva utilização da plataforma conectada, com geração de dados, monitoramento em tempo real e entrega de insights automatizados? Em modelos de cobrança recorrente ou baseados em uso, a ocorrência do fato gerador se dá de forma continuada ou mesmo difusa, em evidente descompasso com a lógica da legislação vigente, que pressupõe marcos temporais objetivos e delimitados. Diante disso, impõe-se uma definição legal clara quanto ao aspecto da operação de IoT que será eleito como o gatilho da incidência tributária.

Não menos complexa é a delimitação da base de cálculo. A mensuração do valor econômico tributável em uma operação integrada que combina hardware, software, serviços, processamento de dados e, por vezes, inteligência artificial representa desafio de ordem técnica e jurídica. A pergunta central é: como valorar a solução como um todo e, simultaneamente, aplicar regimes tributários distintos a cada componente? A atual separação entre a base de cálculo do IPI/ICMS (valor da mercadoria) e do ISS (preço do serviço) colide com a indivisibilidade prática de muitas soluções de IoT. A segregação artificial entre hardware e serviço não apenas gera distorções, como permite margens para elisão fiscal e disputas entre entes federativos. Ademais, há o elemento intangível representado pelos dados cuja coleta, armazenamento e tratamento são, muitas vezes, o verdadeiro motor de valor do negócio. Como precificar o dado na base de cálculo? A tendência internacional, observada em sistemas tributários mais atualizados, caminha para a adoção de bases de cálculo amplas, que buscam refletir o valor agregado total da transação, o que exigiria, no Brasil, uma reformulação legislativa profunda.

O sujeito passivo, por sua vez, suscita indagações igualmente relevantes. Em cadeias produtivas globais e descentralizadas, típicas das soluções de IoT, a identificação do contribuinte aquele que realiza o fato gerador e do responsável tributário a quem a lei atribui o dever de recolher o tributo torna-se tarefa extremamente complexa. As operações podem envolver, simultaneamente, o fabricante do dispositivo, o desenvolvedor do software embarcado, o provedor da plataforma na nuvem, em que sua maior parte está localizado no exterior, o integrador do sistema e o prestador do serviço ao usuário final.

Em tal contexto, a legislação brasileira, ainda fortemente centrada em operações localizadas e lineares, carece de critérios objetivos e eficazes para definir a sujeição passiva em ambientes fragmentados e transnacionais. A ausência de mecanismos específicos para tratar prestadores estrangeiros como regimes especiais de registro fiscal, substituição tributária ou retenção na fonte compromete a eficácia arrecadatória e a neutralidade do sistema, além de criar insegurança jurídica tanto para contribuintes quanto para a administração tributária.

Esses obstáculos, presentes na aplicação dos elementos fundamentais da obrigação tributária às operações de IoT, evidenciam as limitações estruturais do atual arcabouço jurídico-tributário brasileiro. Apesar dos avanços jurisprudenciais e das recentes, porém tímidas, tentativas de atualização legislativa, o sistema permanece insuficiente para lidar de maneira eficiente, justa e neutra com a complexidade das novas tecnologias. Nesse cenário, a análise comparativa com experiências internacionais, objeto do próximo capítulo, revela-se essencial para subsidiar eventuais reformas e adaptações normativas no contexto nacional.

4. TRIBUTAÇÃO DA IoT: ANÁLISE COMPARADA E PERSPECTIVA INTERNACIONAL

Os desafios tributários impostos pela IoT, analisados no contexto brasileiro no capítulo anterior, não são uma exclusividade nacional. Governos e administrações tributárias ao redor do mundo enfrentam dilemas semelhantes ao tentar adaptar seus sistemas fiscais a essa nova realidade tecnológica e econômica. A natureza intrinsecamente globalizada da IoT, com cadeias de valor fragmentadas que atravessam fronteiras, fluxos de dados transnacionais e modelos de negócio inovadores que desafiam as classificações tradicionais, exige uma perspectiva comparada para compreender as diferentes abordagens adotadas, os desafios comuns e as possíveis lições para o Brasil. Este capítulo, fundamentado principalmente nas análises aprofundadas de *The Internet of Things in Tax Law* de Álvaro Anton e *Estudos tributários sobre a economia digital: IoT* de Arthur Leite da Cruz Pitman, bem como nas discussões em fóruns internacionais, explora o panorama internacional da tributação da IoT,

examinando experiências específicas de países selecionados, questões setoriais críticas como IVA/GST e Aduanas, o uso estratégico de incentivos fiscais e a delicada, porém crucial, relação entre o uso da tecnologia pela administração tributária para fiscalização e a salvaguarda dos direitos fundamentais dos contribuintes.

4.1. PANORAMA INTERNACIONAL: DESAFIOS COMUNS E TENDÊNCIAS GLOBAIS NA TRIBUTAÇÃO DIGITAL

A tributação da economia digital, um universo que engloba desde o comércio eletrônico e serviços de streaming até as complexas arquiteturas da IoT e da inteligência artificial, tornou-se um tema central e de alta prioridade na agenda de organizações internacionais como a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e a União Europeia (UE), além de ser objeto de intenso debate em nível nacional em praticamente todos os países. Os trabalhos desenvolvidos no âmbito do projeto BEPS (Base Erosion and Profit Shifting) da OCDE/G20, iniciado em 2013, representaram um marco nesse esforço global. A Ação 1 do BEPS, dedicada especificamente aos desafios fiscais da economia digital, reconheceu que a digitalização não era um setor isolado, mas sim uma característica transversal da economia moderna, e que as regras tributárias internacionais existentes, baseadas em conceitos como estabelecimento permanente (EP) físico e alocação de lucros pelo princípio de plena concorrência (arm's length principle), eram insuficientes para lidar com modelos de negócio que geram valor a partir de ativos intangíveis, dados e participação de usuários sem necessariamente uma presença física substancial no mercado de consumo (OCDE, 2015; Pitman, 2018).

Após anos de negociações complexas no âmbito do Quadro Inclusivo (Inclusive Framework) sobre BEPS, que reúne mais de 140 jurisdições, chegou-se a um acordo histórico em 2021 sobre uma solução de dois pilares para reformar as regras fiscais internacionais:

- Pilar Um (Pillar One): Visa realocar parte dos lucros das maiores e mais lucrativas empresas multinacionais (MNEs) para as jurisdições de mercado onde seus usuários e consumidores estão localizados,

independentemente da presença física (regras denexo e alocação de lucros baseadas em fórmulas).

- Pilar Dois (Pillar Two): Busca estabelecer um imposto mínimo global sobre os lucros das MNEs (com receita acima de 750 milhões de euros), através das regras GloBE (Global Anti-Base Erosion), para desencorajar a transferência artificial de lucros para jurisdições de baixa ou nenhuma tributação.

Embora essa solução represente um avanço significativo, sua implementação ainda enfrenta desafios técnicos e políticos, e seu impacto específico sobre a tributação da IoT ainda precisa ser totalmente avaliado. As regras do Pilar Um, por exemplo, focam inicialmente em MNEs muito grandes, e a complexidade da alocação de lucros em cadeias de valor de IoT pode não ser totalmente resolvida. No entanto, a lógica subjacente de buscar tributar o valor onde ele é criado e consumido, superando a dependência da presença física, é uma tendência global relevante para a IoT.

Além dos desafios relacionados à tributação direta, especialmente no âmbito do imposto de renda, o campo da tributação indireta, que abrange o IVA (Imposto sobre Valor Agregado), o GST (Goods and Services Tax) e outros tributos sobre o consumo tem sido palco de intensa mobilização internacional, particularmente em razão do crescimento exponencial do comércio eletrônico e da economia digital. Nesse contexto, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) tem desempenhado papel de destaque, ao elaborar as *International VAT/GST Guidelines*, que buscam orientar os países na adaptação de seus sistemas tributários à nova realidade digital.

O princípio central defendido pela OCDE é o da tributação no destino, segundo o qual os serviços e intangíveis fornecidos de maneira transfronteiriça a consumidores finais em operações B2C devem ser tributados no local do consumo. Essa diretriz tem motivado diversos países a instituírem regimes simplificados de registro e recolhimento do tributo para fornecedores estrangeiros, como o regime VAT MOSS (Mini One Stop Shop) adotado na União Europeia e o OVR (Overseas Vendor Registration) em Singapura. No entanto,

quando se busca aplicar essas diretrizes às operações envolvendo a Internet das Coisas, surgem novos desafios de natureza técnica e conceitual, que têm sido objeto de análise por estudos especializados.

Um dos primeiros obstáculos enfrentados diz respeito à caracterização da operação. Para fins de incidência do IVA ou GST, é essencial distinguir entre bens, serviços e intangíveis, já que a definição do local de consumo e as alíquotas aplicáveis variam conforme essa classificação. No entanto, as soluções integradas de IoT, que combinam elementos físicos, software embarcado, conectividade em tempo real e processamento de dados na nuvem, muitas vezes não se enquadram de forma clara em nenhuma dessas categorias isoladamente. A ausência de uma harmonização internacional sobre essa caracterização cria o risco concreto de dupla tributação quando dois países consideram a mesma operação como sujeita à sua jurisdição fiscal ou, em sentido oposto, de não tributação, quando ambos deixam de enquadrá-la.

Outra dificuldade relevante reside na identificação do local de consumo da operação de IoT. A resposta a essa pergunta nem sempre é trivial: trata-se do local onde o dispositivo físico está instalado? Do domicílio do usuário final? Do território onde os dados são processados e analisados? Embora as diretrizes da OCDE ofereçam parâmetros interpretativos, como a localização do equipamento ou do IP, a aplicação prática desses critérios, em um ambiente altamente distribuído e dinâmico como o da IoT, pode ser extremamente desafiadora.

Além disso, observa-se que a maioria das diretrizes internacionais tem como foco principal as operações B2C, ou seja, aquelas realizadas com consumidores finais. No entanto, no ecossistema da IoT, é comum a ocorrência de operações B2B, com múltiplos intermediários e cadeias de valor complexas. Nesses casos, a regra geral de localização costuma ser o país de estabelecimento do adquirente, mas a multiplicidade de atores envolvidos fabricantes, integradores, prestadores de serviços em nuvem e usuários corporativos, exigem definições claras e objetivas para evitar conflitos de competência e lacunas tributárias.

A tributação dos dados, por sua vez, permanece como uma das fronteiras mais incertas e debatidas da política fiscal contemporânea. Embora tenha havido propostas em diversos fóruns internacionais para instituir uma espécie de "imposto sobre dados" ou mesmo considerar os dados como ativos tributáveis, tais propostas esbarram em dificuldades conceituais significativas. Afinal, o que exatamente se entende por "dado" para fins fiscais? Como mensurar seu valor, especialmente quando se trata de dados brutos ainda não tratados? E, ainda mais complexo: como rastrear e controlar os fluxos transfronteiriços de dados em tempo real, de modo a garantir conformidade tributária?

Diante de tais impasses, a tendência atual observada em diversos países tem sido a de evitar a tributação direta dos dados em si, concentrando-se, em vez disso, na tributação das atividades econômicas que deles se utilizam, como o fornecimento de serviços baseados em análise de dados, publicidade direcionada ou automação inteligente. Essa abordagem, ainda que mais pragmática, não encerra o debate, que segue em aberto e deverá ganhar novos contornos à medida que a economia digital se consolida como o eixo central das interações econômicas globais.

4.2. EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS SELECIONADAS: ABORDAGENS E DESAFIOS

A análise das abordagens adotadas por países específicos no enfrentamento dos desafios tributários relacionados à Internet das Coisas (IoT) evidencia uma significativa diversidade de estratégias, refletindo diferenças nos sistemas tributários, nos graus de maturidade tecnológica e nas prioridades econômicas de cada jurisdição. O estudo comparativo conduzido por Álvaro Jesús em *The Internet of Things in Tax Law (2022)* oferece uma visão abrangente dessas distintas experiências, permitindo identificar boas práticas, lacunas e potenciais caminhos para o aperfeiçoamento do modelo brasileiro.

Em Singapura, centro tecnológico de referência na Ásia, adota-se uma abordagem tributária pragmática, voltada à promoção da competitividade e à simplificação da conformidade, sem perder de vista os princípios da neutralidade e da justiça fiscal. A autoridade tributária local, a Inland Revenue Authority of

Singapore (IRAS), orienta-se pelo princípio da prevalência da substância sobre a forma, analisando a essência econômica das transações. Assim, quando uma solução de IoT é considerada predominantemente como fornecimento de um bem tangível, aplicam-se as regras de GST correspondentes a bens. Por outro lado, se o núcleo da operação for a prestação de serviços, como acesso a plataformas, análise de dados ou monitoramento remoto, a operação é tratada como serviço para fins de GST. Ademais, Singapura implementou em 2020 o regime de *Overseas Vendor Registration (OVR)*, obrigando fornecedores estrangeiros de serviços digitais com faturamento relevante a se registrarem e recolherem o GST nas operações B2C. Nas operações B2B, vigora o mecanismo de autoliquidação (*reverse charge*). O país também se destaca pelo uso estratégico de incentivos fiscais voltados à pesquisa, desenvolvimento e adoção de tecnologias emergentes, incluindo a IoT, como instrumento de manutenção de sua atratividade econômica.

Nas Filipinas, por sua vez, o sistema tributário ainda se encontra em processo de adaptação à nova realidade digital. A legislação atual, concebida a partir de uma separação rígida entre bens e serviços, apresenta dificuldades significativas na classificação tributária das soluções complexas de IoT. Embora haja reconhecimento da necessidade de modernização normativa, as reformas têm avançado de forma paulatina. O Bureau of Internal Revenue (BIR) tem emitido regulamentações pontuais para abranger transações digitais, mas persiste a ausência de diretrizes específicas para operações de IoT, gerando um ambiente de incerteza para os contribuintes. O investimento em tecnologia por parte da administração tributária, como a adoção do faturamento eletrônico sinaliza avanços, mas o uso dos dados gerados por dispositivos de IoT para fins de fiscalização ainda é incipiente e esbarra em desafios relativos à proteção de dados, sobretudo em um país com fragilidades estruturais nesse campo.

A Indonésia, maior economia do Sudeste Asiático, também tem promovido reformas em seu sistema de IVA com o objetivo de capturar a crescente relevância da economia digital. Em 2020, foram introduzidas regras que obrigam empresas estrangeiras que comercializam bens intangíveis ou prestam serviços digitais a consumidores locais (B2C) a se registrarem e

recolherem o IVA. O software, por exemplo, é geralmente tratado como bem intangível tributável. No entanto, quando se trata de soluções de IoT que combinam hardware, software e serviços contínuos, ainda há uma lacuna normativa expressiva. A ausência de diretrizes específicas para tais operações compromete a segurança jurídica, e a complexidade administrativa impõe ônus adicionais às empresas que atuam nesse setor.

A comparação internacional, ao alcançar o contexto brasileiro, evidencia com clareza as particularidades e os entraves estruturais do sistema tributário nacional. O Brasil se distingue por sua multiplicidade de tributos incidentes sobre o consumo, IPI, ICMS, ISS, PIS e COFINS, cada um com competência, base de cálculo e fatos geradores próprios, o que dificulta sobremaneira a tributação racional e eficiente de soluções integradas como as oferecidas pela IoT. A rigidez da lista de serviços do ISS, os conflitos federativos recorrentes e a ausência de um marco legal específico para a tributação da IoT criam um cenário de alta complexidade e insegurança jurídica. Embora a decisão do Supremo Tribunal Federal (STF), que definiu a incidência de ISS sobre o licenciamento de software, represente um avanço, ela está longe de esgotar as discussões suscitadas pelas inovações tecnológicas. O contraste com modelos mais unificados e modernos, como o de Singapura ou da União Europeia, reforça a urgência de uma reforma tributária estrutural no Brasil, ou ao menos de alterações legislativas que promovam a simplificação e a racionalização da tributação sobre tecnologias emergentes.

No âmbito da União Europeia, observa-se um esforço coordenado e sistemático de modernização do sistema de IVA em resposta às transformações do comércio eletrônico e da digitalização da economia. O *E-commerce VAT Package*, implementado em 2021, reformulou as regras aplicáveis a vendas online B2C, tanto de bens quanto de serviços, consolidando o princípio da tributação no destino. O sistema *Mini One-Stop Shop* (MOSS) foi expandido para os modelos *One-Stop Shop* (OSS) e *Import One-Stop Shop* (IOSS), simplificando os procedimentos de registro e recolhimento do imposto por parte de empresas que operam em múltiplos Estados-Membros. Embora ainda não existam normas específicas para IoT, as regras gerais de IVA aplicáveis a bens, serviços

eletrônicos e telecomunicações são utilizadas para enquadramento das operações. A correta caracterização das soluções, como bens ou serviços, continua sendo um ponto de atenção relevante, sendo que o Comitê do IVA da UE tem publicado orientações interpretativas nesse sentido. Além disso, a União Europeia lidera os avanços regulatórios em matéria de proteção de dados (com o GDPR) e inteligência artificial (com o AI Act), o que afeta de maneira indireta, mas significativa, o ambiente de desenvolvimento e de tributação da IoT.

Tal análise revela que, enquanto algumas jurisdições caminham para a simplificação, unificação e adaptação de seus sistemas tributários à economia digital, outras ainda enfrentam limitações normativas e institucionais que dificultam o avanço. O Brasil, nesse cenário, encontra-se em posição crítica, e o exemplo de outras jurisdições pode servir como fonte de inspiração para reformas que privilegiem a coerência normativa, a segurança jurídica e a neutralidade tributária, pilares indispensáveis para o desenvolvimento sustentável do setor de IoT.

4.3. IVA/GST E QUESTÕES ADUANEIRAS NA IoT: DETALHES CRUCIAIS

A tributação da Internet das Coisas (IoT) no contexto internacional tem sido predominantemente estruturada com base na lógica dos tributos sobre o valor agregado, como o Imposto sobre Valor Agregado (IVA) ou o Imposto sobre Bens e Serviços (GST), que constituem os principais tributos indiretos em diversos países. A correta aplicação das regras relativas ao local da prestação (*place of supply*) é um elemento central para assegurar a neutralidade e a efetividade da tributação, sobretudo nas operações transfronteiriças que envolvem soluções de IoT.

Nas operações voltadas ao consumidor final (modelo B2C), observa-se uma clara tendência internacional refletida nas diretrizes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), nas normas da União Europeia e na legislação de diversos países de adoção do critério do local de residência ou domicílio habitual do consumidor como fator determinante da tributação. Essa orientação tem como objetivo evitar a erosão da base tributária e garantir a equidade na arrecadação, especialmente em face da crescente

participação de fornecedores estrangeiros no mercado digital. Para viabilizar a aplicação dessa regra, instrumentos como o *One-Stop Shop* (OSS), o *Import One-Stop Shop* (IOSS) e os regimes nacionais de registro de fornecedores estrangeiros têm sido adotados, exigindo que o prestador identifique a localização do cliente e recolha o IVA/GST correspondente ao país de destino.

Já nas operações entre empresas (modelo B2B), a regra predominante é a tributação no local onde o cliente empresarial está estabelecido. Nessa hipótese, o mecanismo de autoliquidação (*reverse charge*) é amplamente utilizado: o adquirente do serviço ou bem intangível assume a responsabilidade pelo cálculo e recolhimento do imposto, desonerando o fornecedor estrangeiro da obrigação de registro e cumprimento de obrigações acessórias no país de destino. Tal mecanismo, embora reduza a complexidade para o fornecedor, exige que o tomador esteja preparado para realizar corretamente a autoliquidação, com sistemas de controle fiscal compatíveis e alinhados às exigências locais.

A caracterização jurídica da operação, como fornecimento de bem ou prestação de serviço, assume papel decisivo na definição do tratamento tributário aplicável. Muitos países adotam o critério da essência econômica da transação ou do componente predominante para essa qualificação. Por exemplo, se a solução de IoT for predominantemente identificada como a comercialização de um dispositivo físico com funcionalidades acessórias, a operação tende a ser classificada como venda de bem. Em contrapartida, se o foco estiver no fornecimento de funcionalidades digitais, como acesso a plataformas em nuvem, coleta e análise de dados ou monitoramento remoto, o enquadramento como prestação de serviço é mais provável. A ausência de critérios uniformes e a multiplicidade de interpretações sobre essa distinção geram significativa complexidade regulatória e incerteza jurídica, especialmente em contextos de fiscalizações e controvérsias administrativas.

Além dos aspectos relacionados ao IVA/GST, a tributação aduaneira nas importações de dispositivos de IoT também apresenta desafios relevantes. O primeiro diz respeito à classificação fiscal dos bens. A atribuição do código correto na Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), no caso brasileiro, ou no

sistema harmonizado internacional (*Harmonized System Code*), é determinante para a definição das alíquotas aplicáveis de Imposto de Importação (II), Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), PIS/COFINS-Importação e, indiretamente, do ICMS. Dispositivos de IoT podem assumir múltiplas funções, como comunicação, monitoramento, automação, entre outras, o que levanta dúvidas sobre seu enquadramento: tratar-se-ia de um equipamento de comunicação (NCM 8517), de um processador de dados (NCM 8471), ou de um eletrodoméstico com funcionalidade inteligente? A correta classificação exige análise técnica aprofundada da funcionalidade principal do dispositivo e, em muitos casos, pode ser objeto de disputa com a administração aduaneira.

O segundo desafio relevante no campo aduaneiro refere-se à valoração das mercadorias. A definição do valor aduaneiro que serve de base de cálculo para os tributos incidentes na importação deve observar os critérios estabelecidos pelo Acordo de Valoração Aduaneira da Organização Mundial do Comércio (OMC), sendo o principal deles o valor da transação. No caso de dispositivos de IoT, coloca-se a questão de saber se o valor aduaneiro deve considerar exclusivamente o custo do hardware ou se deve incluir também os valores relativos ao software embarcado e aos serviços vinculados ao bem, como plataformas digitais de suporte e análise de dados. A interpretação sobre se esses elementos intangíveis integram o "preço efetivamente pago ou a pagar" pelo bem varia entre as jurisdições. A tendência mais recente aponta para uma interpretação econômica da transação, buscando captar o valor real agregado pelo bem e pelos serviços correlatos. Contudo, essa abordagem exige documentação robusta e critérios objetivos de valoração, especialmente quando se trata de software precificado separadamente ou licenciado por assinatura.

Diante desse panorama, torna-se evidente a necessidade de articulação entre as políticas de IVA/GST e as políticas aduaneiras, com vistas à eliminação de lacunas e sobreposições na tributação das operações transfronteiriças envolvendo IoT. A falta de coordenação entre esses regimes pode resultar em dupla tributação quando diferentes jurisdições tributam o mesmo valor, ou em não tributação quando o valor total da operação não é capturado adequadamente por nenhuma das partes envolvidas. A harmonização conceitual

e procedimental desses regimes, associada à modernização dos sistemas normativos, é imperativa para garantir segurança jurídica, neutralidade fiscal e um ambiente regulatório favorável à inovação tecnológica.

4.4. USO DA IoT PELA ADMINISTRAÇÃO TRIBUTÁRIA VS DIREITOS DOS CONTRIBUINTES: O EQUILIBRIO DELICADO

A Internet das Coisas (IoT) apresenta desafios aos sistemas tradicionais de tributação, mas também oferece às administrações fiscais a chance de modernizar arrecadação, fiscalização e controle. A IoT permite captar dados em tempo real, aumentando a transparência e criando registros digitais auditáveis para comprovar fatos geradores. Sensores conectados geram provas automáticas, como medidores inteligentes que garantem precisão e evitam fraudes, dispositivos que monitoram combustíveis e rastreamento via GPS para controle do ICMS. Máquinas de venda automática e sistemas de ponto de venda conectados transmitem dados em tempo real, modernizando o faturamento.

Além da auditoria, a IoT pode automatizar a conformidade tributária, permitindo apuração e recolhimento quase automáticos, como no pedágio eletrônico por fluxo livre. Também auxilia no controle do uso correto de benefícios fiscais e regimes especiais, monitorando mercadorias com isenção ou sob regimes aduaneiros especiais por meio de sensores e lacres eletrônicos, garantindo segurança e rastreabilidade.

Porém, o uso dessas tecnologias levanta preocupações legítimas sobre direitos dos contribuintes, como privacidade, proteção de dados, e o princípio da não autoincriminação. A coleta massiva e automatizada de dados sensíveis exige respeito aos princípios da legalidade, necessidade, proporcionalidade e transparência, além das regras da proteção de dados. É essencial ter previsão legal clara para a coleta, delimitando quais dados serão captados, condições, finalidade fiscal e órgão responsável, proibindo coleta genérica ou indiscriminada. A administração deve provar que a tecnologia é indispensável e não há alternativas menos invasivas.

Os contribuintes devem ser informados claramente sobre a coleta e tratamento de seus dados, seus direitos e como controlar essas informações. A confidencialidade deve ser garantida por medidas técnicas e organizacionais para evitar acessos não autorizados, vazamentos ou uso indevido, assegurando segurança jurídica e integridade dos dados.

Finalmente, mecanismos independentes, como a Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD) e o Judiciário, devem fiscalizar o uso da IoT, equilibrando eficiência fiscal e proteção dos direitos. Normas internacionais, como a Convenção 108+ do Conselho da Europa, servem de referência para alinhar inovação tecnológica e respeito às liberdades civis. O desafio é usar a tecnologia para a justiça fiscal sem violar os pilares do Estado Democrático de Direito.

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DA ANÁLISE COMPARADA: LIÇÕES PARA O BRASIL

A análise das experiências internacionais relativas à IoT revela um campo de aprendizado valioso para o Brasil, ainda que se reconheça, desde logo, a inexistência de um modelo universal ou de uma fórmula única aplicável a todos os sistemas tributários. Longe de haver uma “bala de prata” normativa, o que se observa é a convergência em torno de algumas diretrizes fundamentais que, embora sujeitas às peculiaridades de cada ordenamento, oferecem subsídios importantes para a formulação de políticas fiscais mais adequadas à nova realidade digital.

O primeiro ponto que se impõe é o reconhecimento de que a necessidade de adaptação dos sistemas tributários é um desafio compartilhado globalmente. Todos os países, em maior ou menor grau, estão sendo compelidos a rever suas estruturas tributárias diante das transformações provocadas pela digitalização da economia e pela proliferação de soluções baseadas em IoT. O Brasil, embora inserido nesse movimento, encontra obstáculos adicionais decorrentes da elevada complexidade e fragmentação do seu sistema tributário, o que torna o processo de adaptação mais sensível e exigente do ponto de vista legislativo e institucional.

Nesse contexto, sobressai a importância de se estabelecer regras tributárias que sejam claras, objetivas e tecnicamente neutras. A previsibilidade normativa é condição essencial para garantir a segurança jurídica dos contribuintes e evitar distorções econômicas, especialmente aquelas que decorrem do favorecimento arbitrário de determinados modelos de negócio, tecnologias ou estruturas contratuais. A neutralidade tributária, nesse sentido, não apenas preserva a concorrência como estimula a inovação e o investimento em soluções tecnológicas emergentes.

Outro aspecto que emerge das análises comparadas diz respeito à superação da dicotomia clássica entre bens e serviços, que se mostra cada vez mais anacrônica diante das complexas soluções integradas típicas da IoT. A insistência em classificar rigidamente as operações como venda de bens ou prestação de serviços, com base em critérios formais, tende a gerar insegurança jurídica e litígios desnecessários. É imperativo que os sistemas tributários passem a adotar critérios que reflitam a essência econômica das transações digitais, reconhecendo a natureza híbrida de muitos modelos e buscando soluções que sejam coerentes com a realidade dos mercados.

No campo da tributação indireta, destaca-se a experiência internacional que privilegia modelos modernos de Imposto sobre o Valor Agregado (IVA) ou Goods and Services Tax (GST), com base ampla de incidência, foco na não cumulatividade e ênfase na tributação no destino. Essa estrutura tem se revelado particularmente eficaz na tributação da economia digital, inclusive por facilitar a conformidade de fornecedores estrangeiros por meio de mecanismos simplificados de registro e recolhimento. Nesse sentido, os esforços brasileiros em torno de uma reforma tributária que busque consolidar tributos sobre o consumo em um modelo de IVA moderno são não apenas oportunos, mas indispensáveis para a harmonização do país com as melhores práticas internacionais.

Ademais, torna-se evidente que a natureza transnacional das operações envolvendo IoT exige elevados níveis de cooperação entre administrações tributárias. A troca de informações, o combate coordenado à evasão fiscal e a busca por parâmetros de harmonização normativa são estratégias essenciais

para que os Estados mantenham sua capacidade arrecadatória e evitem a fragmentação normativa, que apenas favorece práticas de elisão e arbitragem regulatória.

Por fim, mas não menos relevante, está a necessidade de se manter como parâmetro intransponível a proteção rigorosa dos direitos fundamentais dos contribuintes, em especial os direitos à privacidade, à autodeterminação informativa e à proteção de dados pessoais. A utilização de tecnologias avançadas pelas autoridades fiscais não pode se dar em detrimento das liberdades civis, sob pena de comprometer os alicerces do Estado Democrático de Direito. O equilíbrio entre eficiência arrecadatória e respeito aos direitos individuais deve ser permanentemente perseguido, e qualquer inovação normativa ou tecnológica deve estar subordinada a esse princípio.

Essas lições extraídas do cenário internacional, articuladas à análise crítica do contexto brasileiro desenvolvida no capítulo anterior, servirão de base para a proposição de diretrizes e medidas concretas voltadas à construção de um modelo tributário mais adequado à realidade da IoT no Brasil, conforme será explorado no capítulo final desta monografia.

5. PROPOSTA E DIRETRIZES PARA A TRIBUTAÇÃO DA IoT NO BRASIL

A análise empreendida nos capítulos anteriores expôs a profunda inadequação do sistema tributário brasileiro para lidar com a complexidade e a dinâmica da Internet das Coisas (IoT). A legislação atual, fragmentada e concebida para uma economia analógica, falha em capturar a essência econômica das operações de IoT, gerando insegurança jurídica, conflitos de competência e entraves à inovação. Este capítulo, consolidando o diagnóstico e inspirando-se nas lições da análise comparada, dedica-se a aprofundar a discussão sobre os desafios e a propor diretrizes e sugestões concretas (*lege ferenda*) para aprimorar a tributação da IoT no Brasil, buscando um caminho que concilie arrecadação, segurança jurídica e fomento tecnológico.

5.1. DIAGNÓSTICO CRÍTICO: A INADEQUAÇÃO ESTRUTURAL DO SISTEMA TRIBUTÁRIO BRASILEIRO PARA A IoT

A tentativa de aplicar o arcabouço tributário brasileiro atual à IoT revela uma série de desafios estruturais e gargalos que comprometem a segurança jurídica e a eficiência econômica. O cerne do problema reside na incompatibilidade do modelo de tributação sobre o consumo (ISS/ICMS), baseado em uma dicotomia rígida entre bens e serviços e em competências estanques, com a natureza híbrida, integrada e muitas vezes intangível das soluções de IoT.

O conflito crônico de competência entre ISS e ICMS é a manifestação mais evidente dessa inadequação. Operações de IoT frequentemente envolvem um pacote indissociável de hardware (mercadoria), software (bem incorpóreo/serviço), conectividade (serviço de comunicação) e serviços agregados (plataforma, análise de dados). A tentativa de aplicar as regras de incidência de ambos os impostos a esses componentes gera disputas intermináveis sobre qual tributo deve prevalecer ou se seria possível uma tributação segmentada. A decisão do STF sobre a incidência do ISS em software (ADIs 1945 e 5659), embora um marco, não resolveu a questão das operações mistas complexas, onde o hardware é essencial para a funcionalidade do serviço. A discussão sobre a preponderância da obrigação (dar vs. fazer) torna-se casuística e subjetiva, alimentando a litigiosidade.

Agrava o quadro a rigidez e insuficiência da lista de serviços anexa à Lei Complementar nº 116/2003. A lógica de tipificação taxativa dificilmente acompanha a velocidade da inovação tecnológica. Enquadrar serviços complexos como Plataforma como Serviço (PaaS), Infraestrutura como Serviço (IaaS) ou serviços de análise preditiva baseados em dados de IoT em itens genéricos como "processamento de dados" (1.03) ou "licenciamento de software" (1.05) exige interpretações forçadas e gera insegurança sobre a própria incidência do ISS. A falta de um tipo legal específico para "Serviços Integrados de IoT" deixa uma lacuna que é preenchida por interpretações divergentes entre contribuintes e Fiscos municipais.

A definição dos elementos essenciais da obrigação tributária também se torna obscura. O fato gerador em modelos de negócio baseados em assinatura ou acesso contínuo a plataformas não se encaixa facilmente na lógica de

eventos instantâneos da legislação tradicional. A base de cálculo é outro ponto crítico: como mensurar o valor econômico de uma solução integrada? A simples soma do valor do hardware e do software ignora o valor intangível dos dados e dos insights gerados, que podem ser o principal ativo. A aplicação de bases de cálculo distintas (valor do produto para ICMS/IPI, preço do serviço para ISS) sobre componentes de uma mesma solução é artificial e complexa. A localização da operação, crucial para definir o ente competente, é igualmente problemática. Critérios como o local do estabelecimento prestador são inadequados para serviços digitais ubíquos, enquanto a adoção do critério do destino (local do tomador) enfrenta desafios na definição de "tomador" para serviços de IoT e resistências políticas, perpetuando a danosa guerra fiscal.

Finalmente, a cumulatividade inerente ao ISS e as restrições ao creditamento no ICMS e PIS/COFINS para insumos intangíveis ou serviços geram o efeito deletério da tributação em cascata. Cadeias de valor longas e fragmentadas, como as da IoT, são desproporcionalmente oneradas, prejudicando a competitividade, incentivando a verticalização artificial e, em última instância, aumentando o custo para o consumidor final. Esse conjunto de fatores cria um ambiente de alta complexidade e insegurança, hostil à inovação e ao investimento em um setor estratégico.

5.2. A REFORMA TRIBUTÁRIA COMO SOLUÇÃO ESTRUTURAL E A NECESSIDADE DE MEDIDAS TRANSITÓRIAS

A constatação da inadequação estrutural do atual modelo de tributação sobre o consumo, especialmente diante dos desafios impostos pela economia digital e pela IoT, impõe a necessidade de uma reformulação ampla e profunda do sistema tributário brasileiro. Nesse cenário, a solução que se revela mais promissora, por sua capacidade de alinhar o país às melhores práticas internacionais e de superar distorções históricas, consiste na unificação da tributação sobre bens e serviços por meio da criação de um Imposto sobre Valor Agregado (IVA) de base ampla. As propostas já aprovadas no Congresso Nacional, materializadas nas Propostas de Emenda à Constituição nº 45/2019 e nº 110/2019, apontam nessa direção ao proporem a instituição de um IVA que poderá ser dual, com a Contribuição sobre Bens e Serviços (CBS), de

competência federal, e o Imposto sobre Bens e Serviços (IBS), de competência subnacional ou único, conforme o modelo delineado em cada proposta.

A adoção de um IVA bem estruturado, que compreenda uma base ampla de incidência sobre todas as operações com bens e serviços, tangíveis e intangíveis, aliada a uma não cumulatividade plena, com apropriação irrestrita de créditos financeiros sobre todas as aquisições, representa uma ruptura necessária com o atual regime fragmentado, cumulativo e tecnicamente disfuncional. Além disso, a tributação no destino, prevista como princípio orientador da nova estrutura, eliminaria os incentivos perversos à guerra fiscal e promoveria uma repartição mais equitativa da receita tributária, especialmente em um contexto de operações digitais e transfronteiriças. Com a uniformização legislativa e a eliminação da dicotomia artificial entre bens e serviços, deixariam de existir conflitos de competência entre ICMS e ISS, bem como os entraves gerados pela rigidez da lista de serviços da Lei Complementar nº 116/2003. A própria tributação em cascata, ainda presente em muitos setores da economia, seria sensivelmente reduzida com a adoção de uma não cumulatividade real, calcada na efetiva apropriação de créditos ao longo da cadeia.

Todavia, é necessário reconhecer que a aprovação, e especialmente a implementação de uma reforma tributária dessa envergadura, envolve um processo politicamente sensível, juridicamente complexo e operacionalmente desafiador. As propostas em análise preveem longos períodos de transição, que poderão se estender por mais de uma década, além da exigência de regulamentação detalhada mediante leis complementares, cujos trâmites legislativos não são triviais. Durante esse período de transição – ou mesmo diante da possibilidade de a reforma ser desidratada, postergada ou até inviabilizada impõe-se a necessidade de adoção de medidas infraconstitucionais e infra reformistas que possam, ainda que de forma parcial, mitigar os efeitos mais gravosos do atual regime sobre as operações envolvendo IoT.

Essas medidas, embora não substituam a urgência de uma reforma estrutural ampla, podem desempenhar papel relevante na preparação do ambiente tributário para o novo modelo, ao mesmo tempo em que oferecem alívio imediato a problemas concretos enfrentados pelo setor. Entre elas,

destacam-se a edição de normas infralegais e pareceres interpretativos que clarifiquem a natureza jurídica das soluções de IoT, a revisão de classificações fiscais, a adoção de regimes especiais de apuração ou compensação para determinados segmentos, e a harmonização de entendimentos entre os entes federativos sobre a incidência de tributos indiretos em operações digitais complexas.

5.3. PROPOSTAS CONCRETAS PARA O CENÁRIO ATUAL *Propostas Concretas para o Cenário Atual (Lege Ferenda - Foco na LC 116/03)*

Partindo da premissa da manutenção, ao menos no curto prazo, do atual modelo dual de tributação sobre o consumo, baseado na convivência entre o ISS e o ICMS, torna-se necessário propor ajustes normativos pontuais que tragam maior clareza, racionalidade e segurança jurídica às operações envolvendo soluções integradas de Internet das Coisas (IoT). Tais ajustes devem ser realizados preferencialmente na Lei Complementar nº 116/2003, sem prejuízo da competência tributária estadual quando a operação tiver como núcleo a circulação autônoma de mercadorias. O objetivo central dessas alterações é reconhecer, no plano legal, a especificidade e a complexidade das soluções de IoT, cuja natureza híbrida frequentemente desafia a dicotomia tradicional entre bens e serviços, dando origem a conflitos interpretativos prejudiciais à inovação e ao desenvolvimento do setor.

A medida mais relevante nesse contexto consiste na criação de um subitem específico na lista anexa à Lei Complementar nº 116/2003 destinado à tributação de serviços integrados de IoT. A inclusão de um novo item, tal como “1.XX – Serviços Integrados de Internet das Coisas (IoT)”, permitiria o reconhecimento normativo da prestação de soluções complexas que envolvem, de forma indissociável, atividades como concepção, desenvolvimento, implementação, gerenciamento, monitoramento, operação remota, análise de dados e fornecimento de acesso a plataformas. A redação proposta deve ser suficientemente abrangente para refletir a realidade econômica dessas operações e, ao mesmo tempo, suficientemente precisa para delimitar sua incidência ao campo do ISS. Nesse modelo, o fornecimento de hardware assume caráter acessório, sendo admitido como parte integrante da base de cálculo do

imposto municipal sempre que estiver funcionalmente subordinado à prestação do serviço principal. Essa formulação superaria a necessidade de enquadramentos forçados e promoveria maior coerência interpretativa entre os entes federativos.

Paralelamente, faz-se necessário estabelecer, no próprio texto da Lei Complementar, uma definição clara e específica quanto ao fato gerador e à base de cálculo para o novo item relativo à IoT. A proposta mais compatível com a lógica da prestação contínua e integrada desses serviços seria considerar como fato gerador a disponibilização inicial da solução ou o início da prestação contínua, e como base de cálculo o valor total cobrado pela solução como um todo. Essa abordagem integradora reconhece a unidade econômica do serviço, evita a segmentação artificial de valores e constitui exceção justificada à regra geral que exclui o valor de mercadorias da base do ISS, aplicável exclusivamente nos casos em que o hardware não possui autonomia econômica e funcional. A venda autônoma de dispositivos permaneceria, naturalmente, sob a incidência do ICMS, preservando-se a competência estadual.

Outro ponto fundamental reside na necessidade de consolidar o princípio da tributação no destino, tendência observada em diversos sistemas modernos de tributação do consumo. Para tanto, propõe-se a modificação do artigo 3º da Lei Complementar nº 116/2003, de modo a estabelecer expressamente que, no caso de serviços de IoT, o imposto será devido no município do tomador do serviço. Essa medida não apenas promove uma distribuição mais equitativa da arrecadação, como também contribui para o combate à guerra fiscal entre municípios. Contudo, para evitar novas controvérsias interpretativas, é imprescindível que a própria lei – ou norma infralegal a ser editada – defina critérios objetivos para a identificação do tomador em distintos cenários, como relações B2B, B2C ou envolvendo dispositivos móveis. Parâmetros como endereço de instalação predominante dos dispositivos, informações cadastrais, geolocalização por endereço IP ou similares poderiam ser utilizados, desde que auditáveis e tecnicamente viáveis.

Por fim, sugere-se a adoção de medidas voltadas à racionalização das alíquotas e à mitigação dos efeitos cumulativos no contexto da prestação de

serviços de IoT. A ausência de uma alíquota máxima uniforme para serviços complexos favorece a competição fiscal predatória entre os entes municipais e aumenta a incerteza regulatória para os prestadores. A fixação de um teto mais reduzido na própria Lei Complementar para o novo item relativo à IoT poderia representar um passo importante no sentido de conter a guerra fiscal e incentivar o investimento no setor. Adicionalmente, embora a adoção plena da não-cumulatividade dependa de reforma constitucional, é recomendável o estudo de mecanismos infraconstitucionais que permitam, ainda que de forma limitada, a apropriação de créditos de ISS relativos a insumos efetivamente vinculados à prestação do serviço, como ocorre com conectividade gerenciada ou licenças de uso de plataforma contratadas por integradores de IoT. Tais medidas não apenas aproximariam o ISS de um modelo mais racional e moderno, como também mitigariam os efeitos econômicos adversos da tributação em cascata que ainda persiste em muitos setores da economia digital.

5.4. Diretrizes Complementares para um Ecossistema Favorável à Inovação

A efetiva adequação do sistema tributário brasileiro à realidade da Internet das Coisas (IoT) não pode se restringir a alterações legislativas pontuais. Ainda que essas mudanças sejam essenciais, elas precisam ser acompanhadas por um conjunto de ações complementares que promovam um ambiente institucional coerente, seguro e favorável à inovação. A clareza regulatória e conceitual, por exemplo, exige um esforço coordenado entre diferentes órgãos do Estado, especialmente a ANATEL, a Receita Federal e as Secretarias de Fazenda dos entes subnacionais, para harmonizar definições relativas aos principais componentes da IoT como conectividade máquina a máquina (M2M), serviços de valor adicionado (SVA) e plataformas digitais. Tal uniformização é indispensável para reduzir ambiguidades e conflitos de interpretação que atualmente prejudicam tanto o cumprimento das obrigações tributárias quanto o próprio desenvolvimento tecnológico.

Além disso, é fundamental o fortalecimento da cooperação administrativa entre os entes federativos, com vistas à construção de uma fiscalização inteligente, baseada em risco e apoiada por tecnologias como a Nota Fiscal Eletrônica (NF-e) e o Sistema Público de Escrituração Digital (SPED). A

integração das administrações tributárias permitirá o acompanhamento mais eficaz de operações complexas, especialmente aquelas que envolvem múltiplos elementos contratuais e tecnológicos, evitando a bitributação e promovendo maior eficiência arrecadatória. Essa fiscalização integrada, orientada por dados e parâmetros objetivos, deve substituir a atuação fragmentada e potencialmente conflituosa que ainda predomina em diversos contextos.

Paralelamente, a construção de um ambiente tributário racional e alinhado às necessidades do setor exige a institucionalização de canais permanentes de diálogo entre o poder público e o setor privado. A criação e manutenção de fóruns consultivos estruturados permitiria acompanhar de forma contínua a evolução tecnológica, discutir os desafios tributários emergentes e construir soluções consensuais e pragmáticas, baseadas em evidências e na realidade das operações. Essa interlocução transparente é essencial para evitar a edição de normas tecnicamente inadequadas ou descoladas das práticas de mercado, que apenas agravariam a insegurança jurídica já existente.

Outro eixo fundamental da política pública voltada à IoT está na avaliação criteriosa e na racionalização dos incentivos fiscais hoje vigentes, como aqueles previstos na Lei do Bem e na Lei de Informática. Embora destinados a estimular a pesquisa, o desenvolvimento e a adoção de tecnologias inovadoras, muitos desses regimes apresentam desenho excessivamente complexo, baixo grau de efetividade e elevado potencial de distorção alocativa. É imperativo, portanto, revisar essas políticas sob critérios de transparência, simplicidade e foco em externalidades positivas comprovadas, priorizando ações que efetivamente contribuam para o fortalecimento do ecossistema de inovação nacional.

Por fim, a proteção de dados deve ocupar posição central em qualquer iniciativa que envolva o uso de informações oriundas de dispositivos de IoT pela administração tributária. O respeito aos direitos fundamentais à privacidade e à não autoincriminação, consagrados tanto na Constituição quanto na Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), deve ser intransigente. Nesse contexto, cabe à Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD) exercer papel ativo na fiscalização e na emissão de diretrizes claras sobre os limites da atuação estatal no uso de dados sensíveis para fins fiscais, garantindo que a coleta, o tratamento

e a utilização dessas informações estejam sempre pautados por critérios de legalidade, necessidade e proporcionalidade.

Em conclusão, a tributação da IoT no Brasil demanda uma abordagem multifacetada, urgente e tecnicamente fundamentada. As propostas infra reformistas aqui delineadas especialmente aquelas voltadas à clareza normativa, à tributação no destino e à adequação da base de cálculo do ISS representam medidas viáveis e relevantes nos curto e médio prazos. No entanto, permanece evidente que a solução definitiva para os problemas estruturais da tributação sobre o consumo, particularmente no contexto da economia digital, reside na aprovação de uma Reforma Tributária ampla, capaz de instituir um Imposto sobre Valor Agregado (IVA) moderno e funcional. Independentemente do percurso adotado, é essencial que as políticas tributárias brasileiras sejam desenhadas com visão estratégica, orientadas à promoção da segurança jurídica, da neutralidade econômica, da justiça fiscal e da proteção efetiva dos direitos fundamentais. Somente assim será possível construir um ambiente normativo verdadeiramente propício ao desenvolvimento tecnológico e à inserção competitiva do país na nova economia digital.

6. CONCLUSÃO

Conforme demonstrado ao longo deste trabalho, o sistema tributário brasileiro, alicerçado nos princípios da Constituição Federal de 1988, enfrenta desafios sem precedentes diante da ascensão da IoT e da economia digital. A capacidade de adaptação das normas tributárias, concebidas para uma realidade predominantemente analógica, à dinâmica complexa, híbrida e muitas vezes intangível das operações de IoT revela-se limitada, gerando um cenário de profunda insegurança jurídica e entraves ao desenvolvimento tecnológico.

Nesse contexto, a análise da legislação vigente, especialmente no que tange ao ISS e ao ICMS, evidenciou a inadequação do modelo atual. A dicotomia rígida entre bens e serviços, a fragmentação de competências entre Estados e Municípios, e a rigidez da lista de serviços do ISS colidem frontalmente com a natureza integrada das soluções de IoT, que combinam hardware, software e serviços agregados. A tentativa de aplicar as regras existentes resulta em

conflitos de competência crônicos, interpretações divergentes e um elevado risco de bitributação ou sub-tributação.

A análise da jurisprudência, incluindo as importantes decisões do Supremo Tribunal Federal sobre a tributação de software (ADIs 1945 e 5659), mostrou que, embora relevantes, tais precedentes não foram suficientes para pacificar as controvérsias relativas às operações mistas e complexas da IoT. A ausência de critérios legais claros para definir o fato gerador, a base de cálculo e, principalmente, o local da operação para serviços digitais ubíquos, perpetua a guerra fiscal e compromete a segurança jurídica necessária ao ambiente de negócios.

Ademais, identificou-se que a aplicação dos princípios constitucionais tributários como legalidade, segurança jurídica, capacidade contributiva e não-cumulatividade é tensionada pela realidade digital. A dificuldade em subsumir novos modelos de negócio a tipos legais preexistentes, em mensurar o valor econômico de ativos intangíveis como dados, e em garantir a não-cumulatividade em cadeias de valor fragmentadas, demonstra a necessidade de uma reinterpretação ou, preferencialmente, de uma reforma legislativa que modernize esses conceitos.

Diante deste contexto, a conclusão inescapável é que o atual modelo de tributação sobre o consumo no Brasil é estruturalmente inadequado para a IoT. A busca por soluções exige uma abordagem que transcenda ajustes pontuais. A aprovação da Reforma Tributária que institua um Imposto sobre Valor Agregado (IVA) de base ampla, não-cumulativo e com tributação no destino representa a solução estrutural mais promissora, alinhada às melhores práticas internacionais e capaz de eliminar os conflitos e distorções atuais.

Contudo, enquanto a reforma estrutural não se concretiza, medidas infra-reformistas são urgentes. A revisão da Lei Complementar nº 116/2003, com a criação de um item específico para serviços integrados de IoT, a definição clara de sua base de cálculo, abrangendo a essência econômica da operação, incluindo hardware acessório, e a consolidação da tributação no destino,

conforme proposto no Capítulo 4, poderiam mitigar significativamente a insegurança jurídica no curto prazo.

Desta forma, é crucial reconhecer que, embora seja legítima a preocupação do Estado em garantir a arrecadação necessária ao financiamento de suas atividades, a ausência de um marco tributário claro e adequado para a IoT compromete a segurança jurídica, onera excessivamente os contribuintes e pode inibir a inovação em um setor estratégico para o futuro do país. A complexidade e a incerteza atuais geram altos custos de conformidade e incentivam a litigiosidade, desviando recursos que poderiam ser investidos em desenvolvimento.

É fundamental que o legislador atue de forma célere e assertiva, seja através da Reforma Tributária, seja por meio de ajustes infralegais consistentes. A regulamentação da tributação da IoT deve buscar clareza, neutralidade e simplicidade, estabelecendo critérios objetivos que reflitam a realidade econômica das operações e evitem interpretações subjetivas ou discricionárias por parte da administração tributária.

Paralelamente, é essencial fortalecer a cooperação administrativa entre os entes federativos e manter um diálogo contínuo entre o setor público e o privado para acompanhar a evolução tecnológica e ajustar as normas quando necessário. Ademais, qualquer abordagem tributária deve ser implementada com estrita observância aos direitos fundamentais dos contribuintes, incluindo a proteção de dados pessoais (LGPD), garantindo que a busca por eficiência fiscal não viole garantias individuais.

Por fim, cabe ressaltar que um sistema tributário eficiente e justo para a era digital exige não apenas normas adequadas, mas também o respeito mútuo entre Fisco e contribuintes. A construção de um ambiente de confiança, onde as regras sejam claras e aplicadas de forma isonômica, é fundamental. A discussão sobre a tributação da IoT no Brasil permanece, portanto, um campo essencial para o desenvolvimento do Direito Tributário, demandando um esforço contínuo na busca por soluções que conciliem a justa arrecadação com a segurança

jurídica e o fomento à inovação tecnológica, pilares indispensáveis para o progresso econômico e social.

7. BIBLIOGRAFIA

PITMAN, Arthur Leite da Cruz. *Estudos tributários sobre a economia digital: IoT*. São Paulo:

ASHTON, Kevin. *Internet das Coisas (IoT). Aula 7: Roteiro sobre a Internet das Coisas*. São Paulo:

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. *The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype*. São Francisco: McKinsey & Company, 2018.

DELOITTE INSIGHTS. *The Economic Impact of IoT and Industry 4.0*. Londres: Deloitte, 2020.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. *Relatório sobre a Economia Digital e a IoT na Indústria Paulista*. São Paulo: FIESP, 2020.

PWC – PricewaterhouseCoopers. *The Future of the Internet of Things: Economic Impacts and Policy Implications*. Londres: PwC, 2021.

UNITED STATES CONGRESS. *Internet of Things Cybersecurity Improvement Act*. Washington, D.C., 2020.

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. *Addressing the Tax Challenges of the Digital Economy*. Paris: OECD Publishing, 2020.

SCHOUERI, Luís Eduardo. *Tributação na Economia Digital: Desafios e Soluções*. São Paulo: Saraiva, 2018.

MACHADO, Hugo de Brito. *Direito Tributário Aplicado à Economia Digital*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Forense, 2021.

ATALIBA, Geraldo. *Hipótese de Incidência Tributária*. 6ª ed. São Paulo: Malheiros, 2009.

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações. *Normativas sobre comunicação máquina a máquina e IoT*. Brasília, DF: Anatel.

STF – Supremo Tribunal Federal. *ADI 1945 e ADI 5659*. Julgamentos que abordam a tributação de softwares e ISS. Brasília, DF: Supremo Tribunal Federal.

BRASIL. *Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019*. Institui o Plano Nacional de Internet das Coisas e suas diretrizes de desenvolvimento.

Lei Complementar nº 116, de 31 de julho de 2003. Dispõe sobre o Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISS) e dá outras providências.

ANTÓN ANTÓN, Álvaro; DEL BLANCO GARCÍA, Álvaro Jesús. The Internet of Things in Tax Law. *Crónica Tributaria*, n. 182, p. 151-205, 2022. Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional. EUI.