

Avaliação de *blockchain* como fator de melhoria da eficiência da gestão da cadeia de suprimentos

Evaluating blockchain technology as factor for improving efficiency of supply chain management

Lilian Campos Soares^a, Larissa Romana Rodrigues^b, Lucas Rodrigues^c,
Edilson Ferneda^d, Hércules Antônio do Prado^e

^a liliancampos74@gmail.com

^b larissaromana.rod@gmail.com

^c lucasrodrigues.fr@gmail.com

^d eferneda@gmail.com

^e prado.hercules@gmail.com

Resumo: *Blockchain* é uma tecnologia de registros distribuídos que possui uma rede descentralizada visando proporcionar maior confiança e segurança aos usuários, visto que os registros criados são permanentes e invioláveis. Estudiosos a consideram uma tecnologia disruptiva também para os setores do transporte e da logística, obtendo benefícios impactantes nas organizações, como redução de custos, democracia dos processos, maior transparência, facilidade na manipulação de todas as operações em uma cadeia de suprimentos e o rastreamento em tempo real. Este artigo apresenta a avaliação de elementos da tecnologia *blockchain* e suas vantagens potenciais para a eficiência da gestão da cadeia de suprimentos. A aplicação dessa tecnologia é analisada sob a ótica do monitoramento de cargas no transporte e seu impacto em empresas do setor.

Palavras chave: *Blockchain*; Cadeia de Suprimentos; Transporte; Logística; Tecnologia; Inovação.

Abstract: Blockchain is a distributed logging technology that has a decentralized network to provide greater confidence and security to users, since the records created are permanent and inviolable. Scholars consider it a disruptive technology for the transportation and logistics industries as well, resulting in impressive benefits to organizations, such as cost reduction, process democracy, greater transparency, ease of handling of all operations in a supply chain, and real-time tracking. This paper presents the evaluation of elements of blockchain technology and their potential advantages to the efficiency of supply chain management. The application of this technology is analyzed from the point of view of cargo monitoring in transport and its impact on companies in the sector.

Keywords: Blockchain; Supply Chain; Transportation; Logistics; Technology; Innovation.

1. Introdução

Em uma época em que a tecnologia alcança diversos setores da sociedade e é responsável por uma série de transformações, desde os novos meios de comunicação até mudanças extremas, como o surgimento de novas profissões, acredita-se que a aplicação de novas tecnologias se torna necessária como forma de aprimoramento de produtos e serviços existentes.

Vista como uma tecnologia com potencial disruptivo (Christensen, 1995; Momo et al., 2019), *blockchain* se tornou conhecida em 2008 com o surgimento do Bitcoin (Nakamoto, 2008),

uma moeda digital que tem *blockchain* como base tecnológica (Oberhauser, 2014). Esta tecnologia tem sido considerada uma grande aliada para diversas áreas e acredita-se que, nas áreas do transporte e da logística, pode gerar grande impacto para o mercado, resultando em condições mais favoráveis para o desenvolvimento de processos com transparência e confiança, redução de custos e demais vantagens para o transporte de cargas, por exemplo (Tuomo et al., 2018).

Este estudo visa avaliar elementos da tecnologia *blockchain* e suas possíveis vantagens para

a melhoria da eficiência da gestão da cadeia de suprimentos. Para fundamentar o estudo, a aplicação da tecnologia é analisada sob a ótica do monitoramento de cargas no transporte e os resultados gerados em empresas deste setor. Tendo em vista que seu uso no setor financeiro foi responsável por inovações e diversos trabalhos recentes apontam vantagens na aplicação de *blockchain* no contexto das atividades da cadeia de suprimentos e nas operações de transportes (Casino et al., 2019; Dobrovnik et al., 2018; Kshetri, 2018; ITF, 2018a, 2018b; Tuomo et al., 2018; Yuan & Wang, 2016), este trabalho busca identificar na literatura seu potencial para o transporte de cargas.

Dentre as vantagens da tecnologia está a possibilidade de alcance de maior transparência nos processos que integram a cadeia. O transporte é considerado como um dos processos mais importantes da cadeia e também o mais dispendioso, podendo comprometer até 60% das despesas logísticas (Bowersox et al., 2014). A eficácia do transporte pode colaborar para criação de um alto nível de atividade econômica.

A proposta de relacionar os dois temas tratados no estudo visa a criação de novas possibilidades para o transporte de cargas, além de buscar sanar, com o uso da tecnologia, quaisquer entraves que possam existir relacionados ao transporte, monitoramento e rastreamento de cargas.

2. Metodologia

Dada as inúmeras transformações que as novas tecnologias proporcionam aos mais diversos setores da sociedade, busca-se, com este estudo, analisar os elementos da tecnologia *blockchain* e as vantagens potenciais para a eficiência da gestão da cadeia de suprimentos. Para tal, utilizou-se inicialmente a pesquisa exploratória, definida por Gil (2007) como um tipo de pesquisa que busca proporcionar ao pesquisador maior familiaridade com o objeto de pesquisa e também permitir a construção de hipóteses acerca do tema.

O objetivo geral é avaliar os elementos da tecnologia *blockchain* e as possíveis vantagens que estes podem oferecer como fatores de melhoria da eficiência da gestão da cadeia de suprimentos. Neste âmbito, a aplicação de *blockchain* é analisada sob a ótica do monitoramento de cargas no transporte e que impactos causaria para empresas dos setores de transporte bem

como para todos os participantes de uma determinada cadeia de suprimentos.

Foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre os temas tratados no estudo, a fim de compreendê-los e desta forma, propor uma relação entre eles, criando hipóteses e analisando-as. Para a construção da revisão de literatura, buscou-se identificar estudos científicos relacionados à tecnologia *blockchain*, à gestão da cadeia de suprimentos, ao transporte de cargas e transportes multimodais.

3. Referencial teórico

3.1 Blockchain

Blockchain é uma tecnologia de registros distribuídos de um banco de dados conectados em uma rede descentralizada (Casino et al., 2019), onde são armazenados registros de certos eventos utilizando uma assinatura digital com o objetivo de trazer confiança e segurança através da concordância entre múltiplos membros, de forma pública, compartilhada e universal, criando consenso e confiança na comunicação direta entre as partes. Ou seja, é um grande banco de dados público, com o histórico de todas as transações realizadas (Ulrich, 2014), compartilhado por todos os nós, atualizado por mineração, monitorado por todos os interessados e de propriedade de ninguém (Swan, 2015).

O primeiro *blockchain* foi proposto por Nakamoto (2008) e denominou-se de Bitcoin - implementado em 2009 como um sistema eletrônico de moeda P2P em que os pagamentos on-line são enviados diretamente de uma entidade para a outra sem a necessidade de passagem por uma instituição financeira. A proposta tratou de resolver o problema do “gasto-duplo” (*double-spending problem*) que era associado com a implementação de moedas digitais ou das “criptomoedas” (Badzar, 2016). Com a proliferação do conceito de *blockchain*, outras implementações de estruturas de moedas digitais surgiram (Casino et al., 2019; Crosby et al., 2016; Wang et al., 2019).

Para tratar o problema do gasto-duplo e assegurar transações digitais, Nakamoto (2008) propôs uma distribuição P2P em que transações validadas são então adicionadas como “blocos” ao final de uma cadeia em intervalos regulares, em ordem cronológica e compartilhadas na rede (Badzar, 2016; Pires, 2016). A criptografia é usada para garantir que todas as transações não

possam ser alteradas - as transações são validadas por um sistema conhecido como *proof-of-work* (PoW) (Back, 2002; Swan, 2015). Com isso, um registro permanente é criado e mantido em cada nó participante, garantindo que não existe um único ponto de falha nem uma única entidade que controle os dados (Nakamoto, 2008; Oberhauser, 2014; Wang et al., 2019).

As duas principais tecnologias envolvidas no *blockchain* são: (i) um banco de dados distribuído por meio de uma rede *peer-to-peer* (P2P) e (ii) a criptografia. Com o advento da Internet, tornou-se possível a implementação de redes P2P em que não existe a figura de um servidor central e de seus nós (arquitetura cliente-servidor) - em uma arquitetura P2P, todos os nós são iguais e funcionam tanto como cliente quanto com servidor, permitindo o compartilhamento de dados de maneira distribuída entre os nós (Puthal et al., 2018; Ulrich, 2014).

Assim, o *blockchain* é uma estrutura distribu-

ída de dados entre várias entidades, sem a existência de uma autoridade central para supervisão de operações realizadas no sistema. Na forma de uma lista ou corrente de blocos conectados, cada bloco é ligado ao seu predecessor - como um livro-razão (*ledger*) com o registro público de transações (Fernández-València et al., 2018). O Quadro 1 apresenta os princípios que dão sustentação ao *blockchain*.

De acordo com Fernández-València et al. (2018), todo *blockchain* possui três componentes básicos: (i) uma rede de nós: embora todos nós na rede possam registrar transações, geralmente existem dois tipos de nós - aqueles que são responsáveis pela criação de novos nós e ou pela validação de transações e aqueles nós que apenas registram transações; (ii) um *ledger* compartilhado: como um livro-razão contábil, é um tipo de banco dados compartilhado, replicado e sincronizado entre os nós de uma rede descentralizada - uma entidade nomeada como

Quadro 1: Princípios do *blockchain*.

Princípio	Descrição
Banco de dados distribuído	Cada entidade de um <i>blockchain</i> tem acesso a todo o banco de dados e ao seu histórico completo, ou seja, nenhuma parte controla os dados ou as informações e todas as partes podem verificar diretamente os registros de transações, sem intermediários. As aplicações e sistemas são executados de maneira distribuída, através do estabelecimento de confiança entre as partes, sem a necessidade de uma entidade intermediária confiável.
Disponibilidade e integridade com a transmissão P2P	A comunicação ocorre diretamente entre as entidades ao invés de ocorrer via um nó central, ou seja, cada nó armazena e encaminha informações para todos os outros nós. Todo o conjunto de dados e transações são replicados em diferentes nós de maneira segura, de forma a manter o sistema disponível e consistente.
Transparência com pseudonimidade e auditabilidade.	Toda transação e seu valor associado são visíveis para qualquer entidade com acesso ao <i>blockchain</i> , ou seja, cada nó possui um endereço alfanumérico exclusivo que o identifica. As entidades podem optar por permanecer anônimos ou fornecer provas de sua identidade quando ocorrerem transações. Todas as transações são registradas no livro-razão que são públicas, podendo ser verificadas e auditadas. Além disso, os códigos da tecnologia costumam ser abertos, passíveis de verificação.
Irreversibilidade de transações (imutabilidade e irrefutabilidade)	Depois que uma transação é inserida no banco de dados e as contas são atualizadas, os registros (ou blocos) não podem ser alterados porque estão vinculados a todos os registros (ou blocos) de transações antes deles. Vários algoritmos e abordagens computacionais são implantados para garantir que a gravação no banco de dados seja permanente, ordenada cronologicamente e disponível para consulta de todos os nós.
Lógica computacional	Por ser uma representação digital do livro-razão (<i>ledger</i>), as transações de <i>blockchain</i> podem ser vinculadas a uma lógica computacional e podem ser programadas, ou seja, os usuários podem configurar algoritmos e regras e acionar transações automaticamente entre nós, por exemplo, por meio de contratos inteligentes (<i>smart contracts</i>).
Desintermediação	<i>Blockchain</i> possibilita a integração entre diversos sistemas de forma direta e eficiente. Assim, é considerada um conector de sistemas complexos (sistemas de sistemas), permitindo a eliminação de intermediários de maneira a simplificar o projeto dos sistemas e processos.
Cooperação e incentivos	Oferta de modelo de negócios à base de incentivos, à luz da teoria dos jogos. O consenso sob demanda passa a ser oferecido como serviço em diversos níveis e escopos.

Fonte: adaptado de Iansiti e Lakhani (2017, p. 9), Swan (2015) e Xu et al. (2016).

ledger registra as transações; e (iii) um algoritmo de consenso: mecanismo aceito pelos nós da rede como o meio de seleção do nó responsável pela adição de nós ao *blockchain*.

A primeira geração de *blockchain* opera com um *ledger* público para transações monetárias e com capacidades limitadas de programação (Xu et al., 2016), sendo tipicamente implementada para aplicações de criptomoedas (Swan, 2015). Já em uma segunda geração (Swan, 2015), o *blockchain* transforma-se em uma infraestrutura de programação com um *ledger* público que registra resultados computacionais. A partir dessa plataforma, foi possível implementar os contratos inteligentes (*smart contracts*) (Omohundro, 2014; Szabo, 1997).

Os contratos inteligentes digitais e auto obrigatórios foram propostos por Szabo (1997), combinando protocolos com interfaces de usuários para formalizar e assegurar parcerias ou acordos através de redes computacionais, empregando mecanismos de segurança e criptográficos. A segunda geração, o “Bitcoin 2.0”, surgiu com um modelo que incorpora formas sofisticadas de contratos inteligentes (Omohundro, 2014). Como programas autônomos executados pela rede do *blockchain*, suas estruturas podem acionar gatilhos, condições e lógicas negociais para habilitar transações (Xu et al., 2016).

Existem plataformas que permitem aos usuários finais construir contratos auto executáveis em uma rede *blockchain*, como a SmartContract (2019). Segundo Xu et al. (2016), um contrato inteligente pode ser atualizado após ter sido submetido e antes de ter sido propagado para a rede.

O Ethereum (2019) é uma das plataformas de programação *blockchain* atuais, já tendo sido considerada como a mais desenvolvida (Omohundro, 2014), e que construiu uma estrutura própria de *blockchain* com ambiente integrado de programação para a escrita de contratos inteligentes (Xu et al., 2016). Essa capacidade permite que contratos complexos sejam criados e aplicados automaticamente (Omohundro, 2014).

As aplicações dos contratos inteligentes são diversas, mas não tornam possíveis o que antes era impossível (Swan, 2015), contudo permitem que problemas comuns sejam resolvidos em uma forma que minimiza a necessidade de confiança - a confiança mínima geralmente torna o

dia a dia mais conveniente já que retira o julgamento humano das transações e permite a automação completa (Swan, 2015). Contratos inteligentes têm sido empregados para habilitar transações programadas e comunicação máquina-a-máquina na Internet das Coisas (*Internet of Things* ou IoT), por exemplo, pelo projeto da IBM (Brody & Pureswaran, 2014) chamado de ADEPT (*Autonomous Decentralized Peer-To-Peer Telemetry*).

Com o tempo, os contratos inteligentes podem se tornar extremamente complexos e autônomos em sua operação, criando um novo conjunto de organizações para dar suporte às operações de acordo com o contexto, como (Swan, 2015): aplicações descentralizadas (*Decentralized Applications* - Dapps), organizações autônomas descentralizadas (*Decentralized Autonomous Organizations* - DAOs), corporações autônomas descentralizadas (*Decentralized Autonomous Corporations* - DACs) e sociedades autônomas descentralizadas (*Decentralized Autonomous Societies* - DASs). Essas organizações podem comprar e vender, tomar decisões, contratar e distratar, sem a interferência humana (Omohundro, 2014).

3.2 Criptografia

Blockchain é apoiado fortemente na criptografia para satisfazer os requisitos de segurança no sistema e nas aplicações (ADVFN, 2018). Dentre os recursos mais utilizados, destacam-se as criptografias e as assinaturas digitais. A criptografia utilizada no *blockchain* é uma chave pública para autenticar as pessoas que usam, ou seja, para se certificar de que são quem eles dizem que são. A chave privada é individual e intransferível (Crosby et al., 2016).

Essa chave privada gera uma chave pública que é utilizada nas transações no mercado de criptomoedas. Esse endereço da chave pública é repassado para quem deseja fazer as transações e os mesmos dão em troca o endereço da sua chave pública (ADVFN, 2018). Cada usuário possui um endereço (chave pública) e nas transações de *bitcoins* os endereços selecionados correspondem a um usuário específico, não podendo existir duplicidade nas chaves privadas dos usuários. Com esse tipo de criptografia outros usuários podem verificar que o usuário x é de fato o usuário x sem ter que divulgar sua chave privada (Crosby et al., 2016; Puthal et al., 2018; Ulrich, 2014).

As assinaturas digitais são implementadas por

meio de criptografia de chave assimétrica - a assinatura digital é uma aplicação criptográfica que transporta ao meio digital os princípios de uma assinatura convencional (Pires, 2016). Além da chave privada usada para assinar os documentos, utiliza-se também uma chave pública - a chave privada é secreta e não deve ser revelada para ninguém, já a pública deve ser revelada para qualquer um que queira atestar a autenticidade da assinatura. Do ponto de vista prático, costuma-se assinar o resumo criptográfico de uma mensagem, no lugar da mensagem propriamente dita. Isto porque mensagens costumam ser muito longas e resumos têm quantidade fixa de bits (Crosby et al., 2016; Puthal et al., 2018).

A autenticidade garante a autoria da assinatura, que poderá ser verificada à posteriori. Como ela é infalsificável, qualquer alteração no documento torna a assinatura inválida, logo ela preserva a integridade do documento, também garante o não repúdio e o assinante não pode negá-la, depois de produzida (Crosby et al., 2016; Puthal et al., 2018).

As assinaturas digitais devem atender às mesmas propriedades de assinaturas manuais em documentos. Assim, a assinatura pertence a uma pessoa, mas qualquer um pode verificar a sua autenticidade. Além disso, não é possível forjar a sua assinatura de forma a reutilizá-la em algum outro contexto.

3.3 Gestão da cadeia de suprimentos

Para compreender o funcionamento de uma cadeia de suprimentos é necessário entender o que é a logística, tendo em vista que esta é considerada como parte do processo da cadeia de suprimentos (Ballou, 2006).

Para Pires (2003), o emprego da palavra “logística” teve início na área militar, relacionada às ações de transporte, alojamento e abastecimento de instalações. Com o tempo, logística passou a se relacionar com atividades produtivas, controles de estoque e armazenagem.

Christopher (1997) considera a logística como um processo de âmbito estratégico da empresa, que precisa ser gerenciado, envolvendo a “aquisição, movimentação e armazenagem de materiais, peças e produtos acabados (e os fluxos de informação correlata) através da organização e seus canais de marketing” e de forma integrada, assim, estendendo-se desde os fornecedores até os clientes finais. Segundo o autor, o objetivo é “maximizar as lucratividades

presentes e futuras”.

Segundo Wood Jr. e Zuffo (1998), a definição de “logística” empregada pelo *Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP)* é uma das mais disseminadas no mundo. O CSCMP conceitua a logística como

[...] processo de planejamento, implementação e controle de procedimentos para o transporte e o armazenamento eficiente e eficaz de bens, incluindo serviços e informações relacionadas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender aos requisitos do cliente. (CSCMP, 2013)

Visto que a logística é considerada como parte da cadeia de suprimentos, entende-se que ela está voltada para o planejamento e a organização dos processos com o intuito de melhor cumprir os requisitos estabelecidos pelos clientes. Ballou (1993) definiu que a logística é o estudo contínuo da administração visando obter melhorias nos níveis de serviços de distribuição aos clientes e consumidores por meio de planejamento, organização e controle.

Segundo Chopra e Meindl (2003), “Uma cadeia de suprimentos engloba todos os estágios envolvidos, direta ou indiretamente, no atendimento de um pedido de um cliente [...]”. A cadeia engloba os fabricantes, fornecedores, transportadoras, depósitos e os clientes. De acordo com Ballou (2006), os processos que compõem a cadeia são realizados de maneira repetida ao longo de um canal logístico e nesses processos, matérias-primas são transformadas em produtos acabados.

Para Ballou (2006), o gerenciamento da cadeia de suprimentos (do inglês, *supply chain management*) tem como aspecto principal a integração para geração de valor, ou seja, há uma interação entre as funções de logística, produção e marketing visando a melhoria dos custos ao longo do canal. Para Mentzer et al. (2001):

O gerenciamento da cadeia de suprimentos é definido como a coordenação estratégica sistêmica das tradicionais funções de negócios e das táticas ao longo dessas funções de negócios no âmbito de uma determinada empresa e ao longo dos negócios no âmbito da cadeia de suprimentos, com o objetivo de aperfeiçoar o desempenho a longo prazo das empresas isoladamente e da cadeia de suprimentos como um todo.

Bowersox et al. (2014) entendem a gestão da cadeia de suprimentos como “a colaboração entre empresas para impulsionar o posiciona-

mento estratégico e melhorar a eficiência operacional” e apresenta a gestão integrada da cadeia de suprimentos a partir de três perspectivas de valor, são elas: valor econômico, valor de mercado e a relevância.

O valor econômico é focado na eficiência na criação de bens ou serviços. Os clientes entendem o valor econômico como a aquisição de bens ou serviços de alta qualidade pelo menor preço. O valor de mercado está relacionado à apresentação desses produtos no momento e lugar certo visando ao lucro. Os clientes compreendem como valor de mercado a variedade de produtos disponíveis. A relevância trata da customização de produtos, serviços de valor agregado que fazem uma real diferença na vida dos clientes (Bowersox et al., 2014).

Simchi-Levi et al. (2010) adotou o seguinte conceito para gestão da cadeia de suprimentos:

[...] um conjunto de abordagens que integra, com eficiência, fornecedores, fabricantes, depósitos e pontos comerciais, de forma que a mercadoria é produzida e distribuída nas quantidades corretas, aos pontos de entrega e nos prazos corretos, com o objetivo de minimizar os custos totais do sistema de deixar de atender às exigências em termos de nível de serviço.

O gerenciamento da cadeia de suprimentos é composto então por uma série de práticas que integram os atores e os processos que fazem parte da cadeia, visando à melhoria contínua e a eficiência a longo prazo. Ao abordar a importância do gerenciamento da cadeia de suprimentos, busca-se enfatizar a gestão do processo de transporte, pois é considerado por diversos autores (Ballou, 1993; Bowersox et al., 2014; Chopra & Meindl, 2003; Caixeta-Filho & Martins, 2010) como o componente mais importante e que possui maior custo logístico.

3.4 Modos de transporte

Para Chopra e Meindl (2003), o “transporte significa o movimento do produto de um local a outro, partindo do início da cadeia de suprimentos e chegando até o cliente”. Afirmam que o papel do transporte é de suma importância na cadeia de suprimentos, visto que a fabricação dos produtos dificilmente ocorre no mesmo lugar de consumo. O crescimento do *e-commerce* tornou o processo de transporte ainda mais relevante, necessitando que este seja eficaz e atenda às demandas dos clientes dentro do prazo (ITF, 2018a). O transporte em nível global permite que empresas forneçam mercadorias

para o mundo todo, ressaltada a importância de um transporte eficaz para a cadeia de suprimentos (ITF, 2018b).

Bowersox et al. (2014) discorrem sobre as opções de transporte existentes para apoiar a logística da cadeia de suprimentos. O transporte de cargas opera dentro de cinco modos básicos de transportes (Bowersox et al., 2014; Monteiro, 1997, p. 67):

- **Ferroviário:** é o mais tradicional quando se trata de transportar grandes quantidades de carga por longas distâncias e já foi o modo mais utilizado. Essa capacidade faz com que ainda seja um meio de transporte bastante utilizado para exportação - a ferrovia foi implantada no Brasil para desempenhar a função de “corredor de exportação”, dependente do mercado externo e tendo seus traçados vinculados aos portos para viabilizar o escoamento da produção do interior para o litoral (Barat, 1978; Silva Junior, 2004).
- **Rodoviário:** é o mais expressivo no Brasil e consegue atingir praticamente todos os pontos do território nacional (Gomes & Ribeiro, 2004). Sua expansão se deu pela capacidade de operar porta a porta, pela flexibilidade devido à da malha rodoviária e pelo custo de instalação e manutenção das rodovias ser relativamente baixo. A movimentação de carga geral motivou as ligações rodoviárias de âmbito interestadual e inter-regional - com a função de transporte de longa e média distâncias pelas rodovias, o mercado nacional consolidou-se no modo rodoviário, com ligações troncais paralelas às ferrovias e à navegação costeira (Barat, 1978).
- **Aquaviário:** é o mais antigo (navegação de cabotagem ou de longo curso), inicialmente por meio de navios a vela, depois barcos a vapor e, por fim, a diesel. A principal vantagem deste modo de transporte está relacionada à “capacidade de transportar carregamentos extremamente grandes” (Bowersox et al., 2014). Ao comparar os custos fixos deste modal com o ferroviário e o rodoviário, não há grande diferença.
- **Dutoviário:** os dutos são limitados em capacidade e por permitir um rol específico de produtos (na forma de gás, líquido ou massa semifluida) (Ribeiro & Boente, 2014, p. 4). Apresentam alto custo de instalação, porém, o custo de manutenção é baixo. A vantagem dos dutos está na capacidade de funcionamento ininterrupto, parando somente para

manutenção.

- **Aeroviário:** é o menos utilizado para carga devido às limitações em relação à capacidade e disponibilidade de aeronaves. É muito utilizado para cargas de alto valor agregado e com entrega urgente (Ribeiro & Boente, 2014, p. 4).

Enquanto o Quadro 2, proposto por Bowersox et al. (2014) apresenta uma comparação sintetizada da estrutura de custos fixos e variáveis de cada modal, no Quadro 3, de Ballou (2006), os modos são comparados em relação ao custo e desempenho operacional. Este quadro torna-se relevante para a melhor compreensão das combinações ou integrações entre modos de transporte (ou da intermodalidade) possíveis, tendo em vista que o principal objetivo desta integração é a redução dos custos e melhoria dos serviços. “A integração de serviços com dois ou mais modais de transporte apresenta como

característica marcante a livre troca de equipamentos entre os diversos modos” (Boente et al., 2016).

Ballou (2006) afirma haver dez combinações intermodais viáveis: (i) trem-caminhão; (ii) trem-navio; (iii) trem-duto; (iv) caminhão-avião; (v) navio-avião; (vi) caminhão-navio; (vii) caminhão-duto; (viii) navio-duto; (ix) navio-avião; (x) avião-duto. Dessas combinações, as mais utilizadas são a rodoviário-ferroviário (*piggyback*) e navio-caminhão (*fishyback*).

O *flatcar*, transporte de semirreboques em vagões-plataforma ferroviários, conta com a flexibilidade do transporte rodoviário e com a economia da ferrovia para longas distâncias. De acordo com Ballou (2006, p. 158), este é “o mais procurado em matéria de serviços coordenados”. Bowersox et al. (2014) ressaltam que este sistema apresenta problemas relacionados a danos e peso das carretas e à necessidade de

Quadro 2: Estrutura de custos de cada modo de transporte.

Modo	Característica
Ferroviário	• Alto custo fixo de equipamentos, terminais, trilhos etc. • Baixo custo variável.
Rodoviário	• Baixo custo fixo (estradas prontas e fornecidas pelo dinheiro público). • Custo variável médio (combustível, manutenção etc).
Hidroviário	• Custo fixo médio (navios e equipamentos). • Baixo custo variável (capacidade de transportar grande quantidade de carga).
Dutoviário	• Custo fixo mais alto de todos (dutos, faixas de domínio, construção, necessidade de estações de controle e capacidade de bombeamento). • Custo variável mais baixo de todos (não há custo de mão de obra significativo).
Aéreo	• Baixo custo fixo (aeronaves e sistemas de manuseio e carga). • Alto custo variável (combustível, mão de obra, manutenção etc).

Fonte: Bowersox et al. (2014, p. 211).

Quadro 3: Classificação relativa de modos de transporte por custo de características de desempenho operacional.

Modo de transporte	Características de desempenho ^(a)				Perdas e danos ^(e)
	Custo ^(b)	Tempo médio de entrega ^(c)	Viabilidade do tempo de entrega ^(d)		
			Absoluta	Percentual	
Ferroviário	3	3	4	3	5
Rodoviário	2	2	3	2	4
Aquaviário	5	5	5	4	2
Dutoviário	4	4	2	1	1
Aeroviário	1	1	1	5	3

^(a) Presume-se que o serviço esteja disponível.

^(b) Custo por tonelada-milha. 1 = maior.

^(c) Velocidade porta-a-porta. 1 = mais rápido.

^(d) Taxa de variação absoluta do tempo de entrega em relação ao tempo médio de entrega. 1 = menor.

^(e) 1 = menor.

Fonte: Ballou (2006, p. 155).

equipamentos especiais quando contêineres são utilizados.

O *fishyback* é como são chamados os navios porta-contêineres. Este sistema consiste em transportar carretas de caminhão, vagões de trem ou contêineres em balsas ou navios. É considerado o meio de transporte intermodal mais antigo e o menos oneroso para movimentação de cargas (Ballou, 2006, p. 159; Bowersox et al., 2014, p. 214).

Para facilitar as combinações entre modos de transporte, alguns equipamentos foram desenvolvidos e se tornaram populares (Ballou, 1993), como no caso do uso do palete, por sua eficiência e flexibilidade em unitizar cargas, o que facilita o manuseio e a distribuição da carga, bem como o de contêiner-padrão.

O contêiner-padrão é uma peça de equipamento que é transferível para todos os modais de transporte de superfície, com exceção dos dutos. Como a carga em contêineres evita remanejamentos custosos de pequenas unidades de carga nos pontos de transferência intermodal e oferece serviço porta a porta quando combinado com caminhões, empresas de navegação agora têm navios portas-contêiner, de forma que serviços integrados navio-caminhão podem ser oferecidos. (Ballou, 1993)

3.5 Intermodalidade e multimodalidade

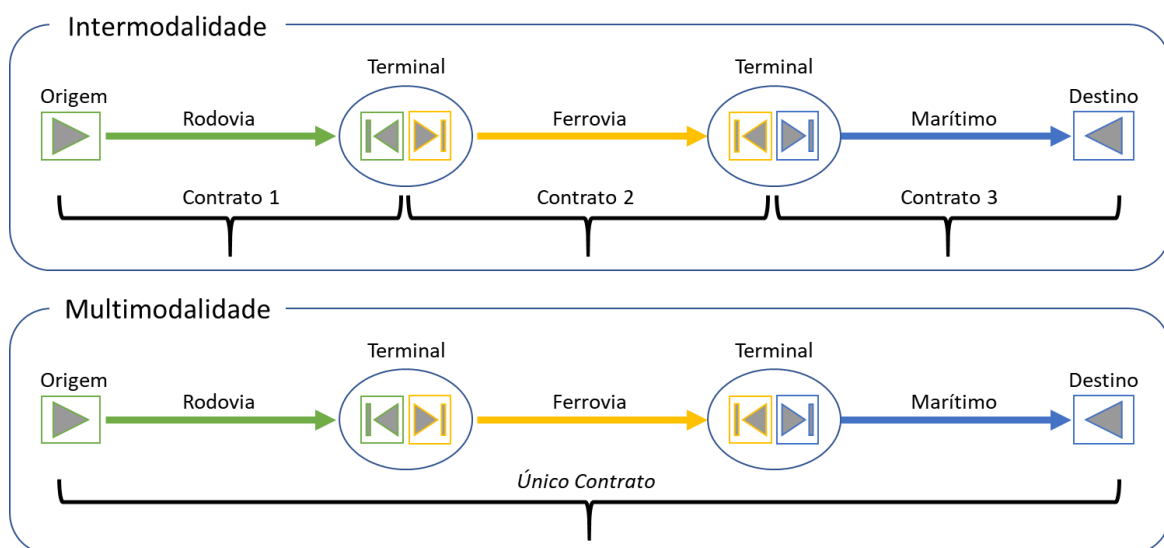
Tanto a intermodalidade quanto a multimodalidade são operações de transportes executadas com base na combinação ou na integração de mais de um modo de transporte com o obje-

tivo de levar uma carga da origem ao seu destino final. Embora a diferença entre esses dois tipos de operações seja sutil, ela é fundamental para o resultado que pode de ser obtido ao final da operação, em termos de eficiência e produtividade (Boente et al., 2016; ITF, 2018a; Ribeiro & Boente, 2014).

Em ambas as operações, há a organização de uma sequência de modos de transporte, entre uma origem e um destino, incluindo a operação de transbordo, ou seja, a transferência de carga entre os modos, em terminais. O principal objetivo é conectar sistemas ou modos de transporte que, de forma integrada, possam atender a um determinado mercado ou segmento (ITF, 2018a). A Figura 1 apresenta um comparativo entre as duas operações, destacando que a diferença reside no tratamento fiscal da operação - operadores e contratos.

Na operação intermodal, o transporte em cada segmento está sujeito à emissão individual de um documento de transporte ou de um contrato separado, o qual precisa ser estabelecido e negociado, dividindo a responsabilidade do transporte entre transportadores (Ribeiro & Boente, 2014). Na operação multimodal, o movimento de carga ocorre na mesma sequência e pode empregar transportadores ou operadores diferentes, responsáveis por cada segmento de transporte, contudo regidos por um único contrato ou documento de transporte cobrindo o trajeto total da carga, da origem ao destino (ITF, 2018a; Ribeiro & Boente, 2014). O trans-

Figura 1: Intermodalidade Vs. Multimodalidade.



Fonte: adaptado de ITF (2018a, p. 5).

porte multimodal visa obter vantagens características de cada modo envolvido na integração, além de um custo total mais baixo (Bowersox et al., 2014, p. 213).

Ballou (2006) fala sobre a expansão desta modalidade de transporte e a cita como uma das razões o crescimento do transporte internacional. Para o autor, a principal característica da intermodalidade é “o livre intercâmbio de equipamentos entre diversos modais”. No Brasil, o transporte rodoviário é o modo que possui maior relevância devido à extensão da malha rodoviária e à disponibilidade e comodidade do serviço porta a porta (Novaes, 2015, p. 282), o que “realça a importância da malha rodoviária em sistemas multimodais” (EPL, 2018, p.13).

Segundo a Lei nº 9.611/1998, Art. 2º, o “Transporte Multimodal de Cargas é aquele que, regido por um único contrato, utiliza duas ou mais modalidades de transporte, desde a origem até o destino, e é executado sob a responsabilidade única de um Operador...”. Este tipo de transporte compreende, além do transporte em si, demais serviços como os de coleta, unitização, desunitização, movimentação, armazenagem e entrega de carga ao destinatário (Brasil, 1998).

De acordo com a lei (Brasil, 1998), o operador de transporte multimodal (OTM) é a pessoa jurídica designada a executar contratos de transporte multimodal, atuando como principal agente de integração dos modos de transporte do trajeto da carga, podendo ser um transportador ou não (Lopez, 2000). O OTM é responsável por todos os contratos necessários à operação, respondendo por prejuízos de perdas, danos ou avarias de cargas que lhe estejam custodiadas, além dos demais prejuízos provenientes de entregas com atraso (Boente et al., 2016).

É importante destacar que a multimodalidade é um reflexo de condições e fatores, como (ITF, 2018a): (i) segmentos de transporte integrados, em que a frequência e os serviços são sincronizados para favorecer a continuidade ao longo da cadeia de transporte; (ii) alianças estratégicas, envolvendo acordos e parcerias entre diferentes transportadoras e operadores de terminais, permitindo-lhes emitir um contrato único ou comum; e (iii) tecnologias de informação e comunicação aprimoradas, permitindo que os atores interajam com mais eficiência.

Embora a multimodalidade pareça ser mais eficiente, já que, tratando-se de um único ope-

rador logístico, os custos de transações são menores para os usuários, na prática, e sob a ótica da cadeia de suprimentos, ela não é necessariamente a mais eficiente e sustentável (ITF, 2018a). Isto se dá, por exemplo, em virtude da escolha dos equipamentos e materiais que serão empregados no trajeto do transporte: um operador logístico estará inclinado a usar suas rotas e suas instalações durante o processo de transporte, uma vez que objetiva maximizar o uso de seus ativos e sua lucratividade. Há uma tendência do operador logístico em privilegiar a utilização de seus ativos mesmo que não sejam os melhores para o mercado consumidor e que não traga eficiência ao processo pela perspectiva da multimodalidade (ITF, 2018a).

4. Vantagens de *blockchain* no transporte e na gestão da cadeia de suprimentos

A tecnologia *blockchain* tem potencial para apoiar o alcance de objetivos da cadeia de suprimentos, como redução de custo e de riscos, aumento da velocidade e da confiabilidade, sustentabilidade e flexibilidade. Isso foi confirmado por Kshetri (2018), que desenvolveu um *framework* a partir de um conjunto de estudos de caso de implementação de *blockchain* em atividades da cadeia de suprimentos.

As propriedades específicas do *blockchain* o habilitam para integração em diversos processos de negócio, como, por exemplo (Yuan et al., 2018):

- Sua estrutura descentralizada e distribuída pode eliminar custos de estruturas intermediárias em sistemas que possuem transações por meio de atravessadores ou intermediários;
- Os registros de *timestamp* podem resolver problemas de segurança de informações e dados de rastreamento;
- Seus mecanismos de segurança e a cadeia de blocos podem tratar deficiências da tecnologia de IoT. A forma tradicional do IoT operar é com uma organização centralizada para coleta e armazenamento de dados, o que a torna vulnerável à perda e à adulteração de dados. A cadeia de blocos no *blockchain* pode criar o consenso de confiança de toda a rede sem a necessidade de se confiar em um nó específico; e
- A flexibilidade de programação possibilita

padronizar pedidos e ordens de serviços, bem como a estruturação dos contratos inteligentes com a especificação de escopo de ativos.

O impacto do *blockchain* na logística vem sendo comprovado (Bajpai, 2017; Groenfeldt, 2017; Kshetri, 2018) e a tecnologia resolve gargalos tradicionais do gerenciamento de informações das cadeias de suprimentos tradicionais (Yuan et al., 2018). Alguns exemplos combinam os processos de manufatura, da gestão da cadeia de suprimentos e de IoT com *blockchain*, permitindo a comunicação automática de veículos e da movimentação de carga, com gatilhos para próximas atividades e para o monitoramento, bem como o estabelecimento de contratos inteligentes entre produtores e compradores (Treiblmaier, 2018).

Blockchain permite integrar e apresentar informações em tempo real em todos os pontos e conexões de uma cadeia de suprimentos. Uma plataforma pode ser construída com a participação de fornecedores, fabricantes, distribuidores, revendedores, operadores logísticos e transportadores, formando alianças, disponibilizando informações, monitorando ativos e rastreando produtos (Yuan et al., 2018).

Operando como uma ferramenta de colaboração de larga escala, *blockchain* efetivamente resolve o problema do compartilhamento de informações por múltiplos agentes e dos custos de transações complexas por meio da descentralização e dos mecanismos de confiança mútua. Além disso, pelo fato de ser uma tecnologia aberta, transparente, descentralizada e rastreável, *blockchain* é naturalmente adaptável para processos de participação ampla, de várias entidades, apoiando na publicidade e democratização da informação em uma cadeia de suprimentos, mas também na proteção de dados privados por meio de algoritmos de criptografia (Yuan et al., 2018).

No caso do transporte marítimo (cabotagem e longo curso) de mercadorias, há uma grande burocracia envolvida, com a produção de documentos e a emissão de autorizações de embarques e desembarques de carga entre transportadores, operadores logísticos, portos e autoridades aduaneiras. Como os procedimentos variam de acordo com as entidades participantes, em nível global, é comum ocorrer atrasos além da possibilidade de atos de corrupção e fraude (Bajpai, 2017).

Os contêineres podem ser carregados rapidamente em um navio, no entanto, a embarcação

pode ser retida no porto por dias devido à falta de documentação, podendo causar a deterioração da carga. Notou-se que mover e manter o controle de toda a documentação necessária pode custar tanto quanto mover fisicamente os contêineres. Além disso, podem haver fraudes no sistema global da cadeia de suprimentos, como a falsificação ou cópia do conhecimento de embarque, ou seja, mercadorias são retiradas dos contêineres e têm seus documentos de liberação e propriedade falsificados, o que resulta em bilhões de dólares em fraudes todos os anos (Bajpai, 2017; Groenfeldt, 2017).

Além da integração com o rastreamento de carga, plataformas baseadas em *blockchain* possibilitam o diagnóstico de problemas em contratos inteligentes entre fabricantes e fornecedores para a aquisição de suprimentos, serviços e máquinas. É possível também rastrear a identidade e reputação de fornecedores e usar contratos inteligentes para negociações em tempo real (Bahga & Madiseti, 2016).

Field (2017) prevê uma maior visibilidade da cadeia de suprimentos e melhoria nas previsões de demanda e, com o aumento da transparência, uma reação mais rápida aos imprevistos. *Blockchain* pode facilitar ainda a medição válida e eficaz dos resultados e desempenho dos principais processos da gestão da cadeia de suprimentos, trazendo confiança e segurança nas informações para os atores da cadeia (Koetsier, 2017).

Blockchain tem potencial para melhorar a confiabilidade da cadeia de suprimentos, exercendo pressão sobre atores e parceiros da cadeia para serem mais responsáveis por suas ações, visto que responsabilidade individual e prestação de contas podem ser estipuladas e garantidas. Em um *ledger* convencional, uma única autoridade age como terceiro confiável, já em um sistema *blockchain*, cada usuário tem sua própria cópia verificada do *ledger* distribuído. Um usuário tem acesso imediato às transações no livro-razão (Kshetri, 2018).

5. *Blockchain* no monitoramento e rastreamento de cargas no transporte e na gestão da cadeia de suprimentos

A transformação digital das cadeias de suprimentos passou por várias tecnologias, como sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) e EDI (*Electronic Data Interchange*) (Vlckova, 2006),

com objetivo de alcançar a eficiência de processos e agilizar a entrega de pedidos, até chegar à incorporação de *blockchain* (Lanko et al., 2018). Com a consolidação da Internet, vários serviços de transporte e logística começaram a surgir, mas ainda com limitações relacionadas ao tamanho da carga, ao uso da intermodalidade, aos danos e perdas de produtos e até mesmo às relações de confiança entre parceiros (Lanko et al., 2018).

A demanda de clientes ou usuários finais por informações de monitoramento e rastreamento de suas cargas é cada vez maior, em especial por sistemas que permitam a conexão direta entre os produtos em transporte e as atividades ou os processos em que os mesmos estão submetidos. Vários setores econômicos, como o industrial (Lanko et al., 2018) e o agrícola (Figorilli et al., 2018), têm se interessado por sistemas desse tipo, já que tornam possível rastrear uma carga em qualquer ponto da cadeia de suprimentos, permitindo que ações corretivas possam ser tomadas para assegurar a qualidade de produtos e a entrega no tempo acordado.

Sun (2012) define IoT como um conjunto de recursos e dispositivos, a exemplo da identificação por radiofrequência (ou RFID), sensores infravermelhos, sistemas de posicionamento global (ou GPS), leitores a laser e qualquer outro sensor que, por meio de um protocolo acordado para qualquer objeto conectado à Internet, intercambiem informação e comunicação de modo a obter identificação, localização, rastreamento, monitoramento e gerenciamento de uma rede. A tecnologia de RFID potencializa a aplicação de IoT em cadeias de suprimentos para rastreamento de objetos, já que contribui para a visibilidade em tempo real da carga (mercadorias), independentemente de sua localização na cadeia (Sun, 2012).

Implementações de sistemas de monitoramento e rastreamento com IoT podem proporcionar a obtenção de indicadores, como os de temperatura, umidade, movimento, condição de luz e a composição química, que, a depender da carga - como as refrigeradas -, são essenciais para garantir a integridade dos produtos, seja no seu armazenamento ou no transporte da origem até destino final (Brody & Pureswaran, 2014; Wang et al., 2019; Chaudhuri et al., 2018). Estudos apontam que a integração de *blockchain* com IoT nas cadeias de suprimentos não apenas proporcionam a integração de informações relacionadas à qualidade dos produtos

com as de rastreamento, mas também transações seguras (Brody & Pureswaran, 2014; Figorilli et al., 2018; Wang et al., 2019).

Esta integração tecnológica fornece uma solução possível para o gerenciamento de identidade nas aplicações IoT (Alam, 2016). Por exemplo, *blockchain* pode ser usado em rastreamento de cargas para a identificação dos executores das ações. Além disso, o tempo, a validade do produto, como no caso dos alimentos, e o local das ações podem ser determinadas (Jackson, 2017).

Um dos problemas enfrentados pelas transportadoras é a quantidade exagerada de documentação fiscal solicitada para o transporte, embarques e desembarques de carga, como no caso de carga em contêineres. Em 2014, a Maersk (2019), empresa internacional de logística integrada de contêineres e serviços da cadeia de suprimentos, rastreou um carregamento de abacates e rosas da África Oriental para Europa, a fim de compreender os processos físicos e a burocracia envolvida nos negócios transfronteiriços (Bajpai, 2017; Kshetri, 2018).

O estudo da Maersk constatou que um único contêiner com uma simples remessa de produtos refrigerados da África Oriental para a Europa exigia selos e aprovações de até 30 (trinta) representantes, como os da alfândega, autoridades fiscais e autoridades de saúde. Isso incluía mais de 200 (duzentas) diferentes interações e comunicações entre estes representantes. O custo de transporte foi de US\$ 2.000 e os trâmites burocráticos custaram por volta de US\$ 300 (15% do valor da carga) (Groenfeldt, 2017).

Em 2017, a Maersk acompanhou um contêiner da Schneider Electric entre suas instalações em Lyon, na França, e dos EUA, passando pelos portos de Roterdã, na Holanda, e Newark nos EUA (Groenfeldt, 2017; Kshetri, 2018).

Quando a IBM apresentou o *blockchain* a alguns executivos da Maersk, deu-se início ao desenvolvimento de um software, aberto a todos os envolvidos em uma cadeia de suprimentos, para o transporte de contêineres (Kshetri, 2018). Quando as autoridades alfandegárias assinavam um documento, podiam enviar imediatamente uma cópia dele com uma assinatura digital, permitindo que todos os envolvidos tivessem acesso ao processo em andamento, podendo verificar sua integridade. A criptografia envolvida dificultaria a falsificação das assinaturas virtuais (Popper & Lohr, 2017). Para isso,

foi utilizada a solução baseada no *Hyperledger Fabric* da *Linux Foundation* (Kshetri, 2018).

A plataforma da IBM com a Maersk tem por objetivo reduzir as barreiras do comércio global e aumentar a eficiência da cadeia de suprimentos internacional de transporte de contêineres. Os benefícios atingem todo o ecossistema da cadeia, desde portos e terminais portuários, transportadores marítimos, autoridades aduaneiras, estivadores e frete, transportadores intermodais e operadores logísticos, de maneira que todas as ligações entre seus pontos estejam conectadas, com a documentação providenciada, operação planejada e atividades autorizadas (White, 2018).

As tentativas iniciais de aplicar *blockchain* à cadeia de suprimentos focaram as fontes holísticas de risco - como pelo uso de *chip* RFID inviolável da *startup* londrina de soluções de *blockchain*, *Everledger*, para rastrear vinhos, fixada na rolha da garrafa. No entanto, soluções mais econômicas estão sendo exploradas, o que provavelmente levará a uma adoção mais ampla da tecnologia para lidar com fontes atomísticas de risco. Os papéis de outros mecanismos para reduzir os riscos merecem menção. Somente as partes que são aceitas mutuamente na rede podem se envolver em transações em pontos de contato específicos. Assim, é possível manter a confiança e a segurança (Kshetri, 2018).

Outra implementação de IoT com RFID e *blockchain* foi empregada para o rastreamento eletrônico da cadeia de suprimentos de madeira florestal, iniciando na árvore plantada até o usuário final do produto, passando por todo o processo de corte de árvores (corte, colheita, processamento) e serração. A implementação foi simulada na região da Calábria, no sul da Itália, empregando dispositivos e *tags* de código-fonte aberto da IoT além de um aplicativo específico de operações florestais, o qual coleta e armazena dados de espécie, data, posição, número de toras produzidas para cada árvore e informação comercial (Figorilli et al., 2018).

Na indústria da construção, também foi realizado estudo com a integração de RFID e GPS para rastreamento de mistura de concreto em tempo real, o que permitiu a previsão do tempo de entrega ao consumidor final e a melhoria do processo de construção. No caso de concreto, é crucial monitorar o tempo de entrega da mistura, registrando o momento de partida do veí-

culo, além de ter um processo isento de fraudes. Foi usado um tipo especial de *tag* RFID, desenvolvida por uma empresa russa para uso na mistura de concreto (Lanko et al., 2018).

A tecnologia de RFID surgiu na década de 1980 e funciona com uma rede de identificação por rádio frequência, com alcance de distâncias variáveis, dependendo do *chip* utilizado (Nassar & Vieira, 2014). A comunicação ocorre através de uma etiqueta com um *chip*, a chamada "*tag* RFID", que envia sinais a um leitor específico. A partir disso, um software é responsável pela conversão dos dados em informações significativas (Duroc & Kaddour, 2012).

Há dois modos de funcionamento de uma etiqueta RFID (Nassar & Vieira, 2014; Sun, 2012):

- **Ativo:** a *tag* possui uma fonte de alimentação e é capaz de enviar dados a um leitor por conta própria. Além disso, uma *tag* RFID ativa pode possuir um tamanho consideravelmente maior se comparada a uma *tag* passiva.
- **Passivo:** neste modo, não há uma fonte de alimentação e a corrente é fornecida pelo leitor. Seu alcance de leitura é menor que a de uma *tag* ativa.

Um sistema com RFID pode ser utilizado com fins de identificação ou rastreamento de carga ou de objetos (Nassar & Vieira, 2014), como em aplicações do setor logístico, desde a manufatura ou produção até a chegada ao consumidor final. Por exemplo, em supermercados, para aprimorar o rastreamento de carga bovina em uma cadeia de suprimentos que inclui insumos, produção de bovinos, processamento no frigorífico, distribuição e consumo (Sander et al., 2018). Para isso, é necessário apenas que o produto possua a etiqueta com um *chip* RFID e assim os dados podem ser capturados pelo leitor, mesmo que os produtos estejam em movimento (Sun, 2012).

No caso do rastreamento de vinhos, o projeto de uma etiqueta específica e o papel timbrado por um produtor no ano declarado de produção foram usados para autenticação (Mathieson, 2017). O *ledger* fornece uma identificação digital exclusiva para cada garrafa relacionada ao histórico de propriedade e do armazenamento. Os dados incluem fotografias de alta resolução e informações do rótulo, cápsula, cortiça e vidro (Rothschild, 2016). À medida que a garrafa de vinho se move ao longo de diferentes participantes na cadeia de suprimentos, os dados di-

gitais são atualizados com os registros de propriedade e armazenamento. Para verificar a proveniência, varejistas, armazéns, casas de leilão e outras plataformas de venda, podem vincular a garrafa à sua identidade digital. Os certificados de autenticação podem ser mantidos em sigilo ou podem ser tornados públicos para fins de marketing (Kshetri, 2018).

Além do aumento de segurança em transações e das atividades da cadeia de suprimentos, o *blockchain* traz benefícios gerenciais ao monitoramento e rastreamento de cargas, com custos e tempo de transação reduzidos por não requer o envolvimento de intermediários ou terceiros, transparência de toda a logística da cadeia, e uma conectividade aprimorada entre os transportadores e operadores logísticos por meio da integração do digital com o físico (Min, 2019).

Novos modelos de negócios vêm se beneficiando da maior precisão no rastreamento de cargas, quanto à temperatura no transporte de alimentos e na identificação de peso morto em um transporte. É o caso do sistema de gerenciamento de frete da empresa LaneAxis (2019). Com sua plataforma (Alger, 2018), a LaneAxis oferece um modelo em *blockchain* que conecta remetentes e transportadores de forma direta, sem intermediários, reduzindo custos, como o de frete. O modelo aumenta a eficiência e reduz a necessidade de terceiros no ecossistema de logística de cargas. A plataforma descentralizada permite que transportadoras e responsáveis pelo envio interajam diretamente, a fim de transmitir, em tempo real e com segurança, informações vitais de logística de transporte (Criptofácil, 2018).

Por meio de contratos inteligentes, é possível que transportadores e demais atores da cadeia de suprimentos gerenciem e rastreiem transações nas operações de transportes, digitalizem processos, eliminem fraudes e reforcem o gerenciamento de estoques, gerando economia para o consumidor, como no caso da solução da LaneAxis (Criptofácil, 2018).

6. Impactos do *blockchain* em transporte e cadeia de suprimentos

As principais características do *blockchain* incluem a descentralização dos processos, no caso de tomada de decisão, o processamento distribuído, a confiabilidade, transmissão P2P,

a imutabilidade dos dados, a automaticidade, a velocidade, as baixas taxas de transação e a transparência (Nakamoto, 2008). Estas características levam a conceitos derivados em um nível mais elevado que carregam implicações gerenciais substanciais, tais como proveniência dos dados, confiança, privacidade, segurança, integridade, consenso, disponibilidade, autenticidade e *accountability*.

A operação de transporte é considerada como uma atividade primária para o cumprimento dos processos da logística (Ballou, 1993, 1995). Dependendo do modo de transporte utilizado, há uma série de problemas relacionados à eficácia desta operação, que podem ser abordados com o uso da tecnologia *blockchain*. A introdução da combinação de IoT e *tags* RFID, também pode acelerar significativamente esse processo. Soluções com RFID efetuam preenchimento e leitura de documentos, bem como gravação de dados sobre a carga em movimento. Isso economiza substancialmente o tempo de registro de dados como, por exemplo, o tempo de produção de um bem, preparação de uma carga, identificação da saída e da entrega ao cliente. Além disso, a automatização reduz o número de funcionários envolvidos no processo de processamento e controle (Lanko et al., 2018).

Vários trabalhos (Figorilli et al., 2018; Kshetri, 2018; Lanko et al., 2018; Mathieson, 2017; Sander et al., 2018), identificam a combinação de IoT (RFID, GPS) e *blockchain* com a redução de perdas por falha humana ou por fraudes, mitigando problemas de confiança entre os atores envolvidos no processo.

A logística impulsionada pela tecnologia *blockchain* descentralizada garante um registro de transações e rastreamento de ativos mais eficientes. Seu *ledger* distribuído garante alta segurança de dados, além de facilitar a integração de parceiros e a replicação P2P. É esperado que o avanço dessa tecnologia acelere ainda mais o processo de transação com liquidação instantânea, auditoria, validação e reconciliação de transações. Os usuários acabarão com menos taxas de *factoring* e menores custos indiretos de recebíveis. Simplificação é algo que o setor de transportes de cargas e a cadeia de suprimentos espera há tempos (Pankaj, 2018).

Como os contratos inteligentes possuem o potencial de resolver ou atenuar os problemas de assimetria de informações (Omohundro, 2014; Xu et al., 2016), estes passam a ser um

recurso de aprimoramento de serviços no transporte e em uma cadeia de suprimentos (Tuomo et al., 2018). Há casos em que a utilização de contratos inteligentes possibilitou a realização de transações de forma mais rápida e avançada para transportadoras e embarcadores de carga (ITF, 2018a), com altos percentuais de automação dos serviços.

Um sistema logístico descentralizado sustentado por contratos inteligentes pode promover benefícios mensuráveis aos seus participantes, além de entregar habilidades para implantação de um ambiente econômico transparente e único, garantindo segurança em toda a cadeia de suprimentos. Os recursos da tecnologia permitem proteger proprietários e transportadores de carga, eliminar problemas de confiança entre os participantes, remover barreiras de informações e evitar custos inadequados (Lanko et al., 2018).

7. Conclusões

De modo geral, o *blockchain* tem potencial de modificar e transformar a maneira como as transações intra e interorganizações acontecem, impactando diversas fronteiras organizacionais com a alocação de recursos para ganhar vantagem competitiva. Ou seja, as atuais estruturas burocráticas (documentação e autorizações) no transporte de carga são obstáculos que a tecnologia pode superar e produzir benefícios na gestão da cadeia de suprimentos. *Blockchain* tem o compromisso de transformar desconfiança em confiança desde o processo inicial até sua transação final. A relevância do *blockchain* foi evidenciada no Fórum Nacional Econômico ao prever que, até 2027, 10% do PIB global estará armazenado em *blockchain*. Porém, especialistas dizem que isto acontecerá antes desta

previsão (SGB, 2019).

No caso do rastreamento de carga e de mercadorias, em diversos setores o uso da tecnologia *blockchain* pode garantir confiabilidade, transparência e segurança, especialmente para cargas suscetíveis à fraude. Nestes casos, a sugestão é uma combinação das tecnologias RFID e *blockchain* para proteção contra atividades fraudulentas. A transição de uma cadeia de suprimentos para *blockchain* incorpora a inovação tecnológica na logística, criando um sistema transparente de interação entre todos os participantes em todas as partes da cadeia.

Os benefícios para operações confiáveis, transações democráticas (exercida por todos e visualizada por todos), condições mais favoráveis para o desenvolvimento de processos, facilidade na organização e coordenação entre as empresas, dentre outros, têm incentivado projetos e estudos de casos para a sua implementação. Com os registros dos dados na sequência natural de acontecimentos, o rastreamento em tempo real da carga transportada e a automação de processos (com contratos inteligentes, por exemplo), há significativa redução nos custos operacionais do transporte. As dificuldades e os custos de sua implementação não têm se mostrado impeditivos frente aos seus benefícios.

Pelo estudo realizado, é possível perceber que a tecnologia *blockchain* traz grandes potenciais e elementos para a logística, especialmente se combinada com IoT. Além de gerar impactos de melhoria e segurança nos processos ao longo da cadeia de suprimentos, *blockchain* permite obter uma visão unificada de toda a informação do transporte de cargas. A tecnologia disponibiliza informações e documentos para todos os atores da cadeia.

Referências

- ADVFN Brasil (2018). Portal de Investimentos. Criptografia do Blockchain. <https://br.advfn.com/investimentos/criptomoedas/criptografia-do-blockchain>
- Alam, M. (2016). Why the auto industry should embrace Blockchain. <https://www.connectedcar-news.com/news/2016/dec/09/why-auto-industry-should-embrace-blockchain/in>
- Alger, L. (2018). LaneAxis blockchain project strengthened by US patent. <https://www.softwaretestingnews.co.uk/laneaxis-blockchain-project-strengthened-by-us-patent>
- Back, A. (2002). Hashcash - A denial of service counter-measure. <http://www.hashcash.org/hashcash.pdf>
- Badzar, A. (2016). Blockchain for *securing sustainable transport contracts and supply chain transparency*. Master's Thesis, Lund University, Helsingborg, Sweden.
- Bahga, A. & Madiseti, V. K. (2016). Blockchain platform for industrial internet of things. *Journal of Software Engineering and Applications*, 9(10), 533-546.

- Baipai, P. (2017). How IBM and maersk will use the blockchain to change the shipping industry. <http://www.nasdaq.com/article/how-ibm-and-maersk-will-use-the-blockchain-to-change-the-shipping-industry-cm756797>
- Ballou, R. (1993). *Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física*. São Paulo: Atlas.
- Ballou, R. (1995). Logistics network design: modeling and informational considerations. *The International Journal of Logistics Management*, 6(2), 39-54.
- Ballou, R. (2006). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial*. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman.
- Barat, J. (1978). *A evolução dos transportes no Brasil*. IBGE/IPEA, Rio de Janeiro.
- Boente, A., Ribeiro, L., Doria, F., & Consenza, C. (2016). A Importância da Intermodalidade/Multimodalidade no Transporte de Cargas no Brasil: Uso da Lógica Fuzzy como Ferramenta de Aferição. *XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão & III INOVARSE - Responsabilidade Social Aplicada*. http://www.inovarse.org/sites/default/files/T16_370.pdf
- Bowersox, D., Closs, D., Cooper, M. B., & Bowersox, J. (2014). *Gestão Logística da Cadeia de Suprimentos*. 4ª ed. Porto Alegre: McGraw Hill / Bookman.
- Brasil. Lei no 9.611 de 19 de fevereiro de 1998, dispõe sobre o Transporte Multimodal de Cargas e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9611.htm
- Brody, P. & Pureswaran, V. (2014). *Device Democracy. Saving the Future of the Internet of Things*. IBM Institute for Business Value. <https://www.ibm.com/downloads/cas/Y5ONA8EV>
- Caixeta-Filho, J. & Martins, R. (2010). *Gestão logística do transporte de cargas*. São Paulo: Atlas.
- Carvalho, J. M. C. (2002). *Logística*. 3ª ed. Lisboa: Edições Sílabo.
- Carvalho, J. R. (2018). *Perspectivas da utilização da tecnologia blockchain nos Correios*. Dissertação (Mestrado em Gestão do Conhecimento e Tecnologia da Informação), Universidade Católica de Brasília, Brasília.
- Casino, F., Dasaklis, T. & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55-81.
- Chaudhuri, A., Dukovska-Popovska, I., Subramanian, N., Chan, H. & Bai, R. (2018). Decision-making in cold chain logistics using data analytics: a literature review. *International Journal of Logistics Management*, 29(3), 839-861.
- Christopher, M. (1997). *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços*. São Paulo: Pioneira.
- CSCMP - Council of Supply Chain Management Professionals (2013). *Supply Chain Management: Terms and Glossary*. https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx
- Chopra, S. & Meindl, P. (2003). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operação*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Christensen, C. & Bower, J. (1995). Disruptive technologies: catching the wave. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/1995/01/disruptive-technologies-catching-the-wave>
- Criptofácil (2018). LaneAxis: solução em blockchain permite lidar com práticas de “peso morto” no transporte de cargas. <https://www.criptofacil.com/laneaxis-solucao-em-blockchain-permite-lidar-com-praticas-de-peso-morto-no-transporte-de-cargas>
- Crosby, M., Nachiappan, Pattanayak, P., Verma, S. & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied Innovation Review*, 2, 6-10.
- Dobrovnik, M., Herold, D. M., Fürst, E. & Kummer, S. (2018). Blockchain for and in Logistics: What to Adopt and Where to Start. *Logistics*, 2(3), 18.
- Duroc, Y. & Kaddour, D. (2012). RFID potential impacts and future evolution for Green projects. *Energy Procedia*, 18, 91-98.
- EPL - Empresa de Planejamento e Logística (2018). Relatório Executivo - Plano Nacional de Logística (PNL) 2025. https://www.ontl.epl.gov.br/html/objects/_downloadblob.php?cod_blob=5835
- Ethereum (2019). Global, open-source platform for decentralized applications. <https://ethereum.org>
- Fernández-València, R., Caubet, J., & Vila, A. (2018). *Introduction to Blockchain Technology*. BIGDATACoE Barcelona. <https://www.bigdatabcn.com/wp-content/uploads/2018/05/WhitePaper-BC.pdf>
- Field, A. M. (2017). Blockchain for freight? *Journal of Commerce*, 18(5), 88-92.
- Figorilli, S., Antonucci, F., Costa, C., Pallottino, F., Raso, L., Castiglione, M., Pinci, E., Vecchio, D., Colle, G., Proto, A; Sperandio, G., & Menesatti, P. (2018). A blockchain implementation prototype for the electronic open source traceability of wood along the whole supply chain. *Sensors*, 18(9).
- Gil, A. (2007). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ª ed. São Paulo: Atlas.
- Gomes, C. & Ribeiro, P. (2004). *Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação*. São Paulo: Thomson.
- Groenfeldt, T. (2017). IBM e Maersk aplicam blockchain ao transporte de contêineres. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/tomgroenfeldt/2017/03/05/ibm-and-maersk-apply-blockchain-to-container-shipping/#6f9bf6893f05>

- Iansiti, M. & Lakhani, K. R. (2017). The truth about blockchain. *Harvard Business Review*.
https://enterpriseproject.com/sites/default/files/the_truth_about_blockchain.pdf
- ITF - International Transport Forum (2018a). Efficiency and Sustainability in Multimodal Supply Chains - Discussion Paper.
<https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/efficiency-sustainability-multimodal-supply-chains.pdf>
- ITF - International Transport Forum (2018b). Innovation and Technology in Multimodal Supply Chains - Discussion Paper.
<https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/innovation-technology-multimodal-supply-chains.pdf>
- Jackson, B. (2017). Primeiro serviço blockchain comercial do Canadá pode se tornar o 'Interac' para transações digitais. *IT World Canada*. <https://www.itworldcanada.com/article/canadas-first-commercial-blockchain-service-could-become-the-interac-for-digital-transactions/391673>
- Pankaj, K. (2018). TCA signs in next-gen blockchain digital wallet for logistics
 FactR. <https://thecurrencyanalytics.com/3795/tca-signs-in-next-gen-blockchain-digital-wallet-for-logistics-factr>
- Koetsier, J. (2017). Blockchain além do Bitcoin: como a Blockchain vai transformar os negócios em 3 a 5 anos.
<https://www.inc.com/john-koetsier/how-blockchain-will-transform-business-in-3-to-5-years.html>
- Kshetri, N. (2018). Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80-89.
- LaneAxis (2019). Redefining Logistics. <https://laneaxis.com/>
- Lanko, A., Vatin, N., & Kaklauskas, A. (2017). Application of RFID combined with blockchain technology in logistics of construction materials. *International Science Conference SPbWOSCE-2017 "Business Technologies for Sustainable Urban Development"*.
- Lopez, J. (2000). *Os custos logísticos do comércio exterior brasileiro*. São Paulo: Aduaneiras.
- Maersk (2019). Integrated Container Logistics & Supply Chain Services. <https://www.maersk.com>
- Mathieson, S. A. (2017). Blockchain begins to prove versatility beyond finance. *Computer Weekly*, 25 Apr. 2017, 20-23.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2).
- Min, H. (2019). Blockchain technology for enhancing supply chain resilience. *Business Horizons*, 62, 35-45.
- Momo, F., Schiavi, G., Behr, A., & Lucena, P. (2019). Business Models and Blockchain: What can change? *Revista de Administração Contemporânea*, 23(2), 228-248.
- Monteiro, S. (1997). *Seleção de sistemas de transporte: um modelo de análise para atacadista-distribuidores*. Dissertação (Mestrado em Administração) - UFRJ/COPPEAD. Rio de Janeiro.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Novaes, A. G. (2015). *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: Estratégia, Operação e Avaliação*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Nassar, V. & Vieira, M. (2014). A aplicação de RFID na logística: um estudo de caso do Sistema de Infraestrutura e Monitoramento de Cargas do Estado de Santa Catarina. *Gestão & Produção*, 21(3), 520-531.
- Oberhauser, A. (2014). Decentralized Public Ledger as Enabler for the Gift Economy at Scale.
https://www.researchgate.net/publication/272795715_Decentralized_Public_Ledger_as_Enabler_for_the_Gift_Economy_at_Scale
- Omohundro, S. (2014). Cryptocurrencies, smart contracts, and artificial intelligence. *AI Matters*, 1(2), 19-21.
- Pires, D. (2003). *Identificação dos acidentes no modal ferroviário de cargas num ramal de Santa Catarina: uma abordagem logística*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Pires, T. (2016). *Estudo da tecnologia blockchain e suas aplicações para provimento de transparência em transações eletrônicas*. Publicação PPGENE.TD-XXA/2016, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília.
- Popper, N. & Lohr, S. (2017). Blockchain: uma maneira melhor de rastrear costeletas de porco, obrigações, manteiga de amendoim ruim? <https://www.nytimes.com/2017/03/04/business/dealbook/blockchain-ibm-bitcoin.html>
- Puthal, D., Malik, N., Mohanty, S., Kougianos, E., & Das, G. (2018). Everything you Wanted to Know about the Blockchain: Its Promise, Components, Processes, and Problems. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 7(4), 6-14.
- Ribeiro, L. & Boente, A. (2014). A Intermodalidade e o Transporte de Carga no Brasil: Uma Visão de Aplicabilidade na Lógica Fuzzy. *XVII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais*.
- Rothschild, C. (2016). Wine vault offers security in a digital age. <https://www.wine-searcher.com/m/2016/12/wine-vault-offers-security-in-a-digital-age>
- Sander, F., Semeijn, J., & Mahr, D. The acceptance of blockchain technology in meat traceability and transparency. *British Food Journal*, 120(9), 2066-2079.
- SGB - Social Good Brasil (2019). Blockchain, inteligência artificial e dados: como eles já estão impactando a vida de milhares de pessoas. <https://socialgoodbrasil.org.br/laboratorio/blockchain-inteligencia-artificial-e-dados-como-eles-ja-estao-impactando-a-vida-de-milhares-de-pessoas-2>
- Silva Junior, R. (2004). *Geografia de redes e da logística no transporte rodoviário de cargas: fluxos e mobilidade geográfica*

- do capital*. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2010). *Cadeia de suprimentos: projetos e gestão*. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman.
- Smartcontract (2019). Connect Smart Contracts to your Apps & Data. <https://www.smartcontract.com>
- Sun, C. (2012). Application of RFID technology for logistics on Internet of Things. *AASRI Conference on Computational Intelligence and Bioinformatics*, pp. 106-111.
- Swan, M. (2015). *Blockchain*. O'Reilly Media.
- Szabo, N. (1997). Formalizing and Securing Relationships on Public Networks. *First Monday*, 2(9).
- Tuomo, K., Keir, F., Juho, K., Lasse, N., Kimmo, R., & Pekka, L. (2018). Blockchains in mobility and logistics. *7th Transport Research Arena*, Vienna, Austria.
- Treiblmaier, H. (2018). The impact of the blockchain on the supply chain: a theory-based research framework and a call for action. *Supply Chain Management: An International Journal*, 23(6), 545-559.
- Ulrich, F. (2014). *Bitcoin - A Moeda na Era Digital*. Instituto Ludwig Von Mises Brasil.
- Vlckova, V. (2006). ERP and EDI System as Tools for Integrated Logistical Management Support. *Management*, 1(10), 124-133.
- Xu, X., Pautasso, C., Zhu, L., Gramoli, V., Ponomarev, A., Tran, A., & Chen, S. (2016). The blockchain as a software connector. *13th Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture*, pp. 182-191.
- Yuan, Y. & Wang, F. (2016). Towards blockchain-based intelligent transportation systems. *IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Rio de Janeiro, pp. 2663-2668.
- Yuan, H., Qiu, H., Bi, Y., Chang, S.-H., & LAM, A. (2018). Analysis of coordination mechanism of supply chain management information system from the perspective of block chain. *Information Systems and e-Business Management*, 18(1).
- Wang, X., Zha, X., Ni, W., Liu, R. P., Guo, Y. J., Niu, X., Zheng, K. (2019). Survey on blockchain for Internet of Things. *Computer Communications*, 136, 10-29.
- White, M. (2018). Digitizing Global Trade with Maersk and IBM. <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2018/01/digitizing-global-trade-maersk-ibm>
- Wood Jr., T. & Zuffo, P. (1998). Supply Chain Management. *Revista de Administração de Empresas*, 38(3), 55-63.

Sobre os autores

Lilian Campos Soares

Graduada em Informática pela Universidade de Fortaleza (1997), Especialista MBA em Gestão Tecnológica e de Negócios pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ (2002) e Mestre em Gestão do Conhecimento e Tecnologia da Informação pela Universidade de Católica de Brasília (2018). É Coordenadora do Observatório Nacional de Transporte e Logística da Empresa de Planejamento e Logística (EPL), ligada ao Ministério da Infraestrutura.

Larissa Romana Rodrigues

Bacharel em Administração pela Universidade Católica de Brasília (2019).

Lucas Rodrigues

Bacharel em Administração pela Universidade Católica de Brasília (2019).

Edilson Férneda

Graduado em Tecnologia de Computação pelo Instituto Tecnológica de Aeronáutica (1979), Mestre em Sistemas e Computação pela Universidade Federal da Paraíba (1988) e Doutor em Ciência da Computação pelo *Laboratoire d'Informatique, Robotique et de Microélectronique de Montpellier* - LIRMM/CNRS, França (1992). Entre 1986 e 2000, foi professor do Departamento de Sistemas e Computação da UFPB (atual Universidade Federal de Campina Grande), tendo atuado nos cursos de Bacharelado em Ciência da Computação, Mestrado em Informática e Doutorado em Engenharia Elétrica. Desde 2001 é professor titular da Universidade Católica de Brasília, onde atua no Curso de Bacharelado em Ciência da Computação e no Mestrado em Gestão, Tecnologia e Inovação (antigo Mestrado em Gestão do Conhecimento e Tecnologia da Informação). Seus interesses incluem Inteligência Artificial e Gestão do Conhecimento.

Hércules Antônio do Prado

Graduado em Processamento de Dados pela Universidade Federal de São Carlos (1976), Mestre em Engenharia de Sistemas e Computação pela COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro (1989) e Doutor em Ciências da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2001), com estágio doutoral na University of Pittsburgh, EUA (1999). É professor da Universidade Católica de Brasília, onde atua no Mestrado em Gestão do Conhecimento e Tecnologia da Informação (MGCTI). Seus interesses incluem Inteligência Artificial, Gestão do Conhecimento, Gestão Organizacional, Planejamento Estratégico e Aprendizagem Organizacional.