



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Ciências Aplicadas



PAULO ROBERTO DOS SANTOS TAVARES

**PROPOSTA DE UM MODELO PARA MELHORAR A
INTEROPERABILIDADE DA CADEIA DE SUPRIMENTOS COM
BLOCKCHAIN: UMA APLICAÇÃO EM OPERAÇÃO
FARMACÊUTICA**

LIMEIRA

2022



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Ciências Aplicadas



PAULO ROBERTO DOS SANTOS TAVARES

**PROPOSTA DE UM MODELO PARA MELHORAR A
INTEROPERABILIDADE DA CADEIA DE SUPRIMENTOS COM
BLOCKCHAIN: UMA APLICAÇÃO EM OPERAÇÃO
FARMACÊUTICA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e de Manufatura na área de Pesquisa Pesquisa Operacional e Gestão de Processos.

Orientador(a): Prof. Dr. Paulo Sérgio de Arruda Ignácio

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO
DEFENDIDA PELO ALUNO PAULO ROBERTO DOS SANTOS TAVARES E
ORIENTADA PELO PROF. DR. PAULO SÉRGIO DE ARRUDA IGNÁCIO.

LIMEIRA

2022

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Ciências Aplicadas
Ana Luiza Clemente de Abreu Valério - CRB 8/10669

T197p Tavares, Paulo Roberto dos Santos, 1982-
Proposta de um modelo para melhorar a interoperabilidade da cadeia de suprimentos com *blockchain* : uma aplicação em operação farmacêutica. / Paulo Roberto dos Santos Tavares. – Limeira, SP : [s.n.], 2022.

Orientador: Paulo Sérgio de Arruda Ignácio.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas.

1. Cadeia de suprimentos. 2. Interoperabilidade. 3. Cadeia de blocos. 4. Indústria farmacêutica. 5. Simulação computacional. I. Ignácio, Paulo Sérgio de Arruda, 1963-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: A model proposal to improve supply chain interoperability with blockchain : an application in pharmaceutical operation.

Palavras-chave em inglês:

Supply chain

Interoperability

Blockchain

Pharmaceutical industry

Computational simulation

Área de concentração: Pesquisa Operacional e Gestão de Processos

Titulação: Mestre em Engenharia de Produção e de Manufatura

Banca examinadora:

Paulo Sérgio de Arruda Ignácio [Orientador]

Antonio Carlos Pacagnella Junior

Robert Eduardo Cooper Ordóñez

Data de defesa: 07-03-2022

Programa de Pós-Graduação: Engenharia de Produção e de Manufatura

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0001-7108-0579>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/4792171574859966>

Folha de Aprovação

Autor(a): Paulo Roberto dos Santos Tavares

Título: Proposta de um modelo para melhorar a interoperabilidade da cadeia de suprimentos com blockchain: uma aplicação em operação farmacêutica

Natureza: Dissertação

Área de Concentração: Pesquisa Operacional

Instituição: Faculdade de Ciências Aplicadas – FCA/Unicamp

Data da Defesa: Limeira-SP, 07 de março de 2022.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Paulo Sérgio de Arruda Ignácio (orientador)

Faculdade de Ciências Aplicadas - FCA/Unicamp

Prof. Dr. Antonio Carlos Pacagnella Junior (membro)

Faculdade de Ciências Aplicadas - FCA/Unicamp

Prof. Dr. Robert Eduardo Cooper Ordonez (membro externo)

Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

DEDICATÓRIA

À minha Família
Aos meus Amigos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi produzido com muita dedicação e muitas horas de esforço, estudo e aprendizado inestimáveis, com ajuda de muitas pessoas que se fizeram importantes no caminho.

Primeiramente a Deus por ter me capacitado e aberto as oportunidades de realizar este trabalho, pela força e discernimento nas horas difíceis e pelas inspirações necessárias em todos os momentos.

A minha esposa Thais, que foi meu primeiro contato com o mundo acadêmico. Obrigado Doutora! Minhas filhas Laura e Ana, pela motivação e paciência durante as longas horas de trabalho, aos meus pais pelo exemplo de disciplina e dedicação, aos meus amigos Edevaldo Vosgrau e Ramon Santos que me ajudaram a estudar para o ingresso, ao meu amigo Samuel Drei que me recebeu e me ensinou a navegar pelo mundo acadêmico da Unicamp, a Giovanna Catussi, ao Mário Monteiro e a Fernanda Rodrigues que me ajudaram nas aulas e congressos, a Manuela Pugliesi e ao Luiz Castello que foram essenciais no aprendizado da programação utilizada neste trabalho e todos aqueles que acreditaram que mais essa conquista seria possível, muito obrigado!

Agradeço especialmente ao meu orientador Professor Paulo Sérgio de Arruda Ignácio por sua paciência e profissionalismo na condução deste trabalho, aprendizado inestimável e pela amizade. Muito Obrigado!

EPÍGRAFE

“Se a meta principal de um capitão fosse preservar seu barco, ele o conservaria no porto para sempre”.

Santo Tomás de Aquino.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é propor um modelo conceitual para melhorar a interoperabilidade de uma cadeia de suprimentos assegurando a rastreabilidade dos produtos em um ambiente seguro de informações a partir da implementação da tecnologia Blockchain. O modelo é proposto a partir do mapeamento de uma cadeia de suprimentos farmacêutica a partir da metodologia SCOR e avaliado a partir de uma simulação computacional e busca responder à pergunta: *É possível afirmar que a tecnologia Blockchain melhora a interoperabilidade de uma cadeia de suprimentos e assegura a rastreabilidade dos produtos em um ambiente seguro de compartilhamento e gerenciamento das informações?* O trabalho é realizado a partir de uma pesquisa bibliográfica aplicando-se revisão sistemática e análise bibliométrica, para o desenvolvimento da teoria que embasa o mapeamento da cadeia de suprimentos e coleta de dados, simulação do modelo e resultados da simulação. Nessa pesquisa bibliográfica identifica-se a cadeia farmacêutica para análise sobre a perspectiva de exploração da fragilidade e interoperabilidade entre os agentes focando na aplicação de Blockchain como solução para essas oportunidades. Os resultados confirmam que o modelo descentralizado proposto apresenta todas as características necessárias para construção de um ambiente seguro para gerenciamento das informações com rastreabilidade e interoperabilidade total. A apresentação de uma nova proposta de operação da cadeia de suprimentos confirma sair da operação de maneira linear traz um novo conceito de gestão e relacionamento entre os parceiros em uma operação descentralizada, incluindo a construção de transparência, confiabilidade e maior nível de segurança transacional cumpre os objetivos do trabalho. A pesquisa se limita ao estudo de uma cadeia de suprimentos da indústria farmacêutica, que apresenta complexidade superior quando comparada com uma cadeia de suprimentos de outros segmentos, por necessitar de controle e confiabilidade dos diferentes processos integrados para garantir o produto na ponta da cadeia para o consumidor final. Adicionalmente, o modelo criado é aplicado em algumas etapas selecionadas da operação da cadeia de suprimentos farmacêutica, de modo a respeitar as limitações técnicas do simulador utilizado, pelo número de variáveis consideradas. O funcionamento da operação estudada nessa pesquisa busca comprovar a interoperabilidade do modelo dentro de um nível de complexidade controlada e fornece estrutura replicável e escalável para aplicação em uma operação real que pode ser explorada e adaptada por outros profissionais e pesquisadores. O trabalho atual contribui para aprimorar as pesquisas existentes por meio da proposição de um modelo de operação descentralizado em uma cadeia de suprimentos, identificando fatores, critérios e variáveis de controle para o estabelecimento de interoperabilidade nas cadeias de suprimentos que permite assegurar a rastreabilidade de produtos de maneira segura e eficiente.

Palavras-chave: Cadeia de Suprimentos, Interoperabilidade, Blockchain, Farmacêutica, Modelo, Simulação

ABSTRACT

The objective of this work is to propose a conceptual model to improve the interoperability of a supply chain, ensuring the traceability of products in a secure information environment from the implementation of Blockchain technology. The model is proposed from the mapping of a pharmaceutical supply chain from the SCOR methodology and evaluated from a computer simulation to answer the question: Is it possible to say that Blockchain technology improves the interoperability of a supply chain and ensures product traceability in a secure information sharing and management environment? The work is carried out from bibliographic research applying systematic review and bibliometric analysis, for the development of the theory that supports the supply chain mapping and data collection, model simulation and simulation results. In this bibliographic research, the pharmaceutical chain was identified for analysis from the perspective of exploring the fragility and interoperability between agents, focusing on the application of Blockchain as a solution to these opportunities. The results confirm that the proposed decentralized model has all the necessary characteristics to build a secure environment for information management with traceability and full interoperability. The presentation of a new supply chain operation proposal confirms that exiting the operation in a linear way brings a new concept of management and relationship between the partners in a decentralized operation, including the construction of transparency, reliability and a higher level of transactional security fulfills the work objectives. The research is limited to the study of a pharmaceutical industry supply chain, which presents higher complexity when compared to a supply chain from other segments, as it requires control and reliability of the different integrated processes to guarantee the product at the end of the chain for the final customer. Additionally, the model created is applied in some selected stages of the pharmaceutical supply chain operation, in order to respect the technical limitations of the simulator used in the number of variables considered. The operation running studied in this research seeks to prove the interoperability of the model within a level of controlled complexity and provides a replicable and scalable structure for application in a real operation that can be explored and adapted by other professionals and researchers. The current work contributes to improve existing research by proposing a decentralized operation model in a supply chain, identifying factors, criteria and control variables for the establishment of interoperability in supply chains that allows ensuring the traceability of products from safe and efficient way.

Key Words: *Supply Chain, Interoperability, Blockchain, Pharmaceutical, Model, Simulation*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Integrando e gerenciando processos através da cadeia de suprimentos.....	28
Figura 2 - Estrutura da Gestão da Cadeia de Suprimentos.....	33
Figura 3 - Os seis macro processos SCOR.....	39
Figura 4 - Hierarquia de processos do SCOR.....	41
Figura 5 - Modelo de funcionamento com base em informações de registro contábil da operação	60
Figura 6 - Modelo Adaptado de produto individual para rastreabilidade.....	61
Figura 7 - Fluxo de informações em uma cadeia de suprimentos centrada em visibilidade. ...	64
Figura 8 - Arquitetura EPC – Electronic Product Code	67
Figura 9 - Arquitetura do SaviTrak.	68
Figura 10 - Esquema lógico da arquitetura do Microsoft BizTalk.	69
Figura 11 - Estrutura e funcionamento do Microsoft BizTalk.	71
Figura 12 - A estrutura de rastreamento baseada em RFID.	75
Figura 13 - O processo de transformação e a rastreabilidade.....	76
Figura 14 - Arquitetura de sistema de rastreamento de produtos baseada em internet.	77
Figura 15 - Matriz de visibilidade dos sistemas de rastreabilidade.....	79
Figura 16 - Códigos de barra comercialmente utilizados no Brasil.	81
Figura 17 - Estrutura de armazenagem de dados - Blockchain.	85
Figura 18 - Estrutura da cadeia de blocos Blockchain.	95
Figura 19 - Esquema básico de funcionamento do Blockchain.	97
Figura 20 - A organização básica de um Blockchain.	98
Figura 21 - Estrutura do Blockchain.....	99
Figura 22 - Estrutura do Blockchain.	100
Figura 23 - Estrutura do Blockchain em camadas.....	101

Figura 24 - Árvore Merkle - Atividade Hashing Blockchain.....	109
Figura 25 - Blockchain pública e privada.	113
Figura 26 - Tecnologia Blockchain em uma cadeia de suprimentos.	120
Figura 27 - Estrutura de Blockchain em uma cadeia de suprimentos.	123
Figura 28 - Arquitetura de um sistema de rastreabilidade de produtos com Blockchain.	125
Figura 29 - Aplicação do Blockchain.	130
Figura 30 - Estrutura de uma arquitetura de rastreabilidade baseada em nuvem.	133
Figura 31 - Cadeia de suprimentos farmacêutica	134
Figura 32 - Classificação da pesquisa científica.	138
Figura 33 - Procedimento Metodológico.....	139
Figura 34 - Etapas da revisão sistemática.	143
Figura 35 - Organização de uma revisão sistemática.	144
Figura 36 - Estrutura para execução de modelagem e simulação.	147
Figura 37 - Estrutura de relacionamento da simulação	154
Figura 38 - Racional de seleção de artigos	160
Figura 39 - Total de artigos publicados por ano na base da pesquisa em inglês.....	161
Figura 40 - Número de artigos publicados por autor.....	162
Figura 41 - Conexão de autores por citação.	164
Figura 42 - Citações de palavras-chave. Grupo Traceability.	166
Figura 43 - Citações de palavras-chave. Grupo Blockchain.	167
Figura 44 - Citações de palavras-chave. Grupo Pharmaceutical Industry.	168
Figura 45 - Distribuição do número de temas por autor.....	169
Figura 46 - Distribuição do número de autores por tema.....	170
Figura 47 - Distribuição do total de temas por autor.....	171
Figura 48 - Modelo genérico de uma cadeia de suprimentos farmacêutica.	173
Figura 49 - Processos de fabricação de medicamentos.	175

Figura 50 - Mapeamento básico do processo de fabricação	176
Figura 51 - Mapeamento macro dos processos no modelo SCOR.....	177
Figura 52 - Cadeia de suprimentos farmacêutica com processos SCOR. Fluxos Físico e Informações Lineares	178
Figura 53 - O modelo inicial da cadeia de suprimentos farmacêutica.....	186
Figura 54 - Detalhamento de uma operação com base no modelo inicial.....	187
Figura 55 - Operação descentralizada do modelo operando em Blockchain	188
Figura 56 - Tela inicial do Remix IDE.....	190
Figura 57 - Lógica de formação do código em Solidity	191
Figura 58 - Lógica do Smart Contract utilizada neste trabalho.....	192
Figura 59 - Detalhe da operação utilizada na simulação	193
Figura 60 - Ilustração da função struct	196
Figura 61 - Código binário do Smart Contract compilado	199
Figura 62 - Custo da transação de compilação do Smart Contract em ETH.....	199
Figura 63 - Carteira MetaMask	201
Figura 64 - Atividades contidas no Smart Contract	203
Figura 65 - Frame de entrada de dados para transação.....	204
Figura 66 - Notificação de custo de processamento da transação	205
Figura 67 - Relatório de transação Blockchain no Etherscan.....	206
Figura 68 - Detalhes da transação no Etherscan.....	208
Figura 69 - Alimentação do Blockchain a partir do fluxo físico de materiais.....	211
Figura 70 - Cadeia de Suprimentos Farmacêutica com Blockchain.....	214

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Desafios da cadeia de suprimentos.....	31
Quadro 2 - Elementos de desempenho da cadeia de suprimentos.....	42
Quadro 3 - Atributos de desempenho do SCOR.....	43
Quadro 4 - Métricas de primeiro nível SCOR.....	44
Quadro 5 - Métricas de segundo nível do SCOR	46
Quadro 6 - Detalhamento da estrutura lógica do Microsoft BizTalk	70
Quadro 7 – Principais características do Blockchain	88
Quadro 8 - Comparação dos tipos de Blockchain	114
Quadro 9 - Principais aplicações do Blockchain	116
Quadro 10 - Benefícios da implantação de Blockchain em uma cadeia de suprimentos.	119
Quadro 11 - Valores criados nas organizações pelo Blockchain.....	128
Quadro 12 - Benefícios do Blockchain.....	129
Quadro 13 - Adoção de Blockchain por Diferentes Entidades.....	131
Quadro 14 - Variáveis transacionais de uma operação farmacêutica.....	135
Quadro 15 - Revisão sistemática Seção 1 – Preparação.....	145
Quadro 16 - Revisão sistemática Seção 2 – Revisão de literatura.....	145
Quadro 17 - Revisão sistemática Seção 3 – Análise de resultados	146
Quadro 18 - Conteúdo da Seção 1 - Revisão Sistemática	158
Quadro 19 - Resultado da extração de dados - Revisão Sistemática artigos em Inglês	159
Quadro 20 – Os 10 autores mais citados na base de dados.	165
Quadro 21 - Adaptação das Variáveis no Modelo de Simulação	183
Quadro 22 - Variáveis utilizadas na simulação	184
Quadro 23 - Valores das variáveis adotadas na simulação.....	185

Quadro 24 - Eventos do Fornecedor 1	194
Quadro 25 - Emissão de Pedidos Fornecedor 1	194
Quadro 26 - Conferência das Transações	195
Quadro 27 - Montagem dos Registros dos Produtos	196
Quadro 28 - Montagem e Associação das Variáveis	197
Quadro 29 - Variáveis da criação do bloco de dados	200
Quadro 30 - Resultado da Compilação do Smart Contract	202
Quadro 31 - Resultado da Transação Despacho Fornecedor 1	207

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

abrev.: abreviatura

API: Application Programming Interface

BC: Blockchain

CC: Cloud Computing

DNS: Domain Name Service

DLT: Distributed Ledger Technology

EPC: Electronic Product Code

EVM: Ethereum Virtual Machine

IoT: Internet of Things

IoS: Internet of Services

RFID: Radio Frequency Identification

SKU: Stock Keeping Unit

SLR: Systematic Literature Review

UPC: Universal Product Code

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1. PROBLEMA DA PESQUISA.....	20
1.2. OBJETIVOS.....	21
1.3. JUSTIFICATIVA	22
1.4. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	23
1.5. ESTRUTURA DESTE TRABALHO	24
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	26
2.1. CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	26
2.1.1. SCOR – SUPPLY CHAIN OPERATIONS REFERENCE	37
2.2. INTEROPERABILIDADE NA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	49
2.3. TECNOLOGIAS DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	64
2.3.1. ARQUITETURAS UTILIZADAS EM SISTEMAS DE RASTREABILIDADE.....	66
2.3.2. RFID – IDENTIFICAÇÃO POR RADIO FREQUENCIA	72
2.3.3. CÓDIGOS DE BARRA	79
2.3.4. CÓDIGOS DE BARRA UNIDIRECIONAIS	81
2.3.5. CÓDIGOS DE BARRA BIDIRECIONAIS	83
2.4. BLOCKCHAIN	84
2.4.1. DEFINIÇÃO DO BLOCKCHAIN.....	84
2.4.2. FUNCIONAMENTO DO BLOCKCHAIN.....	95
2.4.3. TIPOS DE BLOCKCHAIN.....	112
2.4.4. APLICAÇÕES DO BLOCKCHAIN	115
2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	131
3. MÉTODO DE PESQUISA	137
3.1. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	138
3.1.1. DESENVOLVIMENTO DA TEORIA: REVISÃO SISTEMÁTICA	142
3.1.2. SIMULAÇÃO	146
3.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O MÉTODO DE PESQUISA	155
4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS.....	157
4.1. DESENVOLVIMENTO.....	157

4.1.1. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	158
4.1.2. MAPEAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	172
4.1.3. COLETA DE ANÁLISE DE DADOS.....	182
4.2. RESULTADOS.....	185
4.2.1. A DEFINIÇÃO DO MODELO	185
4.2.2 A SIMULAÇÃO	189
5. DISCUSSÃO	209
6. CONCLUSÃO	220
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	223
APÊNDICE A	233
APÊNDICE B	236
APÊNDICE C	241
APÊNDICE D	247
APÊNDICE E	248

1. INTRODUÇÃO

Existem diversos problemas críticos e desafios enfrentados pelos gestores das cadeias de suprimento destacando-se como primeiro, a maneira como a cadeia de suprimentos é afetada pela crescente adoção de IoT – Internet das Coisas, impactando no volume de informações em uma cadeia de suprimentos (HELO; HAO, 2019) criando diversos problemas relacionados a transparência e controle de processos por limitações de segurança, interoperabilidade, padronização, armazenagem de dados e custos operacionais entre os parceiros da cadeia de suprimentos (YADAV *et al.*, 2020).

Esse volume de informações é acumulado de maneira centralizada com controle limitado por alguns participantes da cadeia de suprimentos e causa assimetria e isolamento das informações com quebra das informações e diversas complexidades no gerenciamento de cadeias de suprimentos globais, trazendo uma oportunidade de desenvolvimento de mecanismos para criação de confiança entre os elos da cadeia de suprimentos (HELO; HAO, 2019) e de melhoria de visibilidade dessas informações entre os parceiros a partir de novas abordagens (MUSA *et al.*, 2014).

A operação efetiva dos diferentes sistemas utilizados pelos parceiros de uma cadeia de suprimentos pode ser extremamente difícil, fazendo-se necessário um grande esforço para construção de acuracidade e interoperabilidade entre esses sistemas, que coletam dados em uma cadeia de suprimentos a partir de uma estrutura IoT (W. Yan *et al.*, 2018). Dentre todas as tecnologias conhecidas disponíveis, o Blockchain já provou ser uma boa opção que colabora para aumento da transparência, rastreabilidade e capacidade de auditoria do fluxo de materiais em cada uma das etapas da cadeia de suprimentos de nível global. (BATWA; NORRMAN, 2020; FERRARI *et al.*, 2020).

A tecnologia Blockchain, desenvolvida a partir da criação do Bitcoin, recebe atenção considerável da academia e indústria em diferentes aplicações e é amplamente aceito que essa tecnologia traz mudanças de impacto no fornecimento e em operações da cadeia de suprimentos que podem superar as dificuldades encontradas na realização do

compartilhamento de informações, mantendo a rastreabilidade em todo o processo e melhorando a eficiência operacional. (LIM, 2021).

Os estudos recentes da academia relacionados à aplicação de Blockchain em cadeias de suprimentos diversas vem apresentando crescimento desde 2019 principalmente nas áreas de agricultura, *agri-food*, cadeias de suprimento alimentícias, rastreabilidade de alimentos, controle de contaminação de alimentos, *food service*, rastreamento de alimentos, transportes de materiais, basicamente concentrado em produtos perecíveis diversos, madeira, e produtos de alto valor agregado (LIM, 2021).

As soluções oferecidas por uma rede Blockchain geram valor para uma cadeia de suprimentos com a descentralização de dados sensíveis sob demanda, capacidades, ordens, pedidos e documentos diversos, preços e contratos de prestação de serviços e outros tipos de informação que são controlados em uma rede permissionada e disponibilizados apenas aos membros que devem receber tal informação (IRANNEZHAD, 2021).

A troca de informações em uma rede Blockchain entre os usuários de uma cadeia de suprimentos é em tempo real e a partir de *Smart Contracts* é possível realizar transações, controles e documentação de informações em tempo real apoiadas por coletas de dados automatizadas em processos logísticos (TAN; THI, 2020) reduzindo os diversos riscos de uma cadeia de suprimentos e aumentando a confiabilidade das transações e informações, transparência no fluxo de produtos influenciando dessa maneira na interoperabilidade das empresas de uma cadeia de suprimentos (KAMBLE et al., 2019).

Os aplicativos habilitados para Blockchain chegam a dezenas e compreendem um amplo espectro de soluções inovadoras e diversas em setores industriais diferentes, como agricultura, drones (UAV's) educação, cidades inteligentes (*Smart Cities*), cibersegurança, cadeias de suprimentos, saúde e muito mais recentemente, como uma ferramenta contra pandemias conforme observado em alguns exemplos de aplicação durante o COVID-19 em instituições que a utilizaram para garantir a integridade e privacidade dos dados dos pacientes com informações médicas (GARRIDO et al., 2021).

1.1. Problema da pesquisa

A complexidade de uma cadeia de suprimentos apresenta uma importante oportunidade para aplicação de novas tecnologias no desenvolvimento de monitoramento e rastreabilidade de produtos e informações que podem ser usadas para oferecer transparência na cadeia de suprimentos.

Em função desse nível de complexidade das cadeias de suprimentos, identifica-se que o desenvolvimento das tecnologias aplicadas à cadeia de suprimentos para aumento da velocidade e do volume de informações transmitidas entre os parceiros de uma cadeia nos últimos anos trouxe também um novo nível de complexidade de gestão, criando a necessidade de controle de canais seguros contra fraude e perda de especificações técnicas e gerenciais, durante o compartilhamento e sincronização de informações ao longo do fluxo de obtenção, transformação e entrega de mercadorias e a garantia da confiabilidade na execução de transações.

Como consequência desse problema, um aumento nas necessidades de criação de estabilidade e interoperabilidade entre diferentes sistemas conectados, exige a criação de plataformas, APIs e interfaces para conexão de diferentes linguagens de programação para trocas de documentos eletrônicos como EDIs, ASNs, Avipeds e outros que aumentam o risco de ruptura de fornecimentos por falha nas informações.

Além do problema da complexidade da integração tecnológica, existem também as necessidades de planejamento das demandas de mercado, alinhamento, balanceamento e otimização dos fluxos de produtos em uma cadeia de suprimentos, que são utilizadas como foco de competitividade empresarial, logo, as conexões para integração de sistemas tradicionais ao nível de transparência desejado acabam sendo custosas e limitadas em termos de disponibilidade de tecnologia.

Na execução do procedimento para revisão sistemática e análise dos dados sobre a literatura pesquisada, em adição as linhas de pensamento dos autores analisados, pode-se observar oportunidades para desenvolvimento de estudos sobre o uso de tecnologia Blockchain como, melhoria da rastreabilidade em cadeias de suprimentos com foco na Cadeia de Suprimentos Farmacêutica.

Observa-se o crescimento da aplicação da tecnologia Blockchain na estruturação de sistemas de rastreabilidade de cargas em diferentes cadeias de suprimentos com diferentes finalidades como combate à pirataria, segurança alimentar, garantia de origem e informações de produtores e parceiros da cadeia de suprimentos no processamento.

Diante desse cenário, surge a pergunta:

E possível afirmar que a tecnologia Blockchain melhora a interoperabilidade de uma cadeia de suprimentos e assegura a rastreabilidade dos produtos em um ambiente seguro de compartilhamento e gerenciamento das informações?

1.2. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é propor um modelo conceitual para melhorar a interoperabilidade da cadeia de suprimentos com Blockchain.

Os objetivos específicos são:

- Identificar fatores da interoperabilidade em cadeias de suprimentos;
- Definir critérios para assegurar rastreabilidade de produtos em cadeia de suprimentos;
- Identificar as variáveis de controle que estabeleçam confiança no gerenciamento e compartilhamento das informações em uma cadeia de suprimentos.
- Mapear os processos de uma cadeia de suprimentos em um modelo estruturado que permita identificar os atributos de funcionalidade;
- Identificar modelos de negócio de cadeias de suprimentos com tecnologia Blockchain.
- Avaliar o desempenho proporcionado pela aplicação do Blockchain em cadeia de suprimentos.
- Simular o modelo conceitual do Blockchain na cadeia de suprimentos de um segmento de negócios.

1.3. Justificativa

A criação de transparência por meio da tecnologia em termos de rastreabilidade de produtos e processos (BUMBLAUSKAS *et al.*, 2020) fortalece a segurança operacional e de processos de transformação de produtos diversos (BARALLA *et al.*, 2020), permitindo um gerenciamento diferenciado da cadeia de suprimentos e fortalecendo a segurança do ambiente transacional a partir das próprias características da tecnologia, como imutabilidade, descentralização, segurança criptográfica, e baixos custos transacionais com eliminação de intermediários (KSHETRI, 2021).

Trabalhos de pesquisa recentes demonstram que a quantidade de estudos sobre Blockchain tem aumentado consideravelmente nos últimos anos (BUMBLAUSKAS *et al.*, 2020) e as publicações relacionadas à estudos de casos e aplicações dessa tecnologia na cadeia de suprimentos seguem o mesmo comportamento nos mais diferentes segmentos de mercado (LIM, 2021).

Nesse sentido, este trabalho se justifica por validar e avaliar o quanto as aplicações de Blockchain transformam as cadeias de suprimentos, de tal forma que os problemas e oportunidades de suas melhorias permitam resolver desafios enfrentados relacionados à falta de visibilidade, flexibilidade, confiabilidade, tecnologias adequadas e ineficiências inerentes à interação entre os agentes, que causam diversos problemas na cadeia de suprimentos relacionados a fraudes e violações, flexibilidade, confiabilidade entre os agentes e ineficiências de todos os tipos a partir da má racionalização dos recursos e falhas de comunicação entre eles (Aich, *et al.*, 2019).

A pesquisa contribui para aprimorar as pesquisas existentes por meio da proposição de um modelo de operação em uma cadeia de suprimentos, identificando fatores, critérios e variáveis de controle para o estabelecimento de interoperabilidade nas cadeias de suprimentos que permitindo assegurar a rastreabilidade de produtos de maneira segura e eficiente.

A simulação de uma operação realizada sobre o mapeamento real valida a proposta desse trabalho com resultados que respondem à questão de pesquisa e pode colaborar para solução de diversos problemas apontados por outros autores.

O benefício desse trabalho ainda possibilita as empresas e profissionais que buscam soluções de gerenciamento de informações mais eficientes conseguirem, por meio da melhoria da interoperabilidade de suas cadeias de suprimentos, entender e estruturar de maneira segura, com base no modelo e discussão apresentadas, a implementação da tecnologia Blockchain que permite ampliar a competitividade, resiliência e reduzir os riscos em suas operações.

1.4. Delimitação do trabalho

O trabalho realizado busca trazer dentro do contexto de gestão da cadeia de suprimentos, um modelo de operação que busca contribuir para a melhoria da interoperabilidade de uma cadeia de suprimentos aplicando a tecnologia Blockchain em uma operação desenhada e padronizada para este estudo.

A pesquisa se limita ao estudo de uma cadeia de suprimentos de uma operação na indústria farmacêutica, que apresenta complexidade superior quando comparada com uma cadeia de suprimentos comum por necessitar de controle e confiabilidade dos diferentes processos da cadeia de suprimentos para garantir o produto na ponta da cadeia para o consumidor final. Esse estudo serve como referência para outros tipos de cadeia de suprimentos de menor ou igual complexidade, colaborando para a relevância do trabalho.

O modelo criado é aplicado em uma etapa da operação da cadeia de suprimentos farmacêutica de modo a respeitar as limitações técnicas do simulador utilizado. O número de variáveis necessárias para simulação completa de uma cadeia de suprimentos de ponta a ponta em uma operação farmacêutica é grande e torna-se incompatível com as limitações e características do simulador utilizado e se tornaria demasiadamente pesada para realização deste trabalho. O funcionamento etapa da operação estudada nesse trabalho busca comprovar a eficácia do modelo dentro de um nível de complexidade controlada e fornece estrutura replicável e escalável para aplicação em uma operação real.

1.5. Estrutura deste trabalho

Este trabalho apresenta a seguinte estrutura:

Capítulo 1: Neste capítulo é apresentada a introdução do trabalho de pesquisa que traz sua ideia principal, apresentando os objetivos a serem alcançados, justificativas do trabalho, estrutura do trabalho e pergunta de pesquisa que irá nortear toda a execução. Espera-se aqui ambientar o leitor sobre a significância e estrutura do estudo.

Capítulo 2: Aqui é apresentada a fundamentação teórica e conceitual dos assuntos tratados nesse trabalho de pesquisa e base para o desenvolvimento e discussão dos resultados obtidos. A estrutura da fundamentação teórica é composta de três pilares principais: Cadeia de Suprimentos, SCOR e Blockchain.

Capítulo 3: Neste capítulo é apresentado o procedimento metodológico utilizado no trabalho de pesquisa, para alcance dos objetivos gerais e específicos propostos, orientando as atividades e abordagens para garantir a reprodutibilidade dos resultados quando aplicados em outro contexto de pesquisa.

Capítulo 4: Aqui é apresentado o desenvolvimento e resultados do trabalho de pesquisa, destacando a condução do procedimento metodológico e os resultados obtidos.

Capítulo 5: Neste capítulo é discutido o conteúdo do trabalho, entendimentos, benefícios do processo e a relação entre toda a pesquisa realizada. Uma análise completa do trabalho e resultados atingidos demonstra as mudanças e impactos nos modelos de gestão com aplicação do Blockchain.

Capítulo 6: Aqui é retomada a ideia central do trabalho e suas implicações, limitações do trabalho, oportunidades de estudo futuro e respostas às perguntas e proposições da pesquisa apresentados no capítulo 1.

Capítulo 7: Neste capítulo são apresentadas as referências bibliográficas para garantir ao leitor a identificação dos trabalhos e documentos que foram utilizadas no embasamento teórico deste trabalho, permitindo aprofundamento da pesquisa por outros autores e indicando a fonte de onde informações e ideias foram extraídas.

Apêndice A: Apresenta um resumo dos artigos utilizados como parte da fundamentação teórica e a classificação de cada autor por assunto trabalhado.

Apêndice B: Apresenta o conteúdo da programação em linguagem Solodity para a simulação realizada no ambiente Remix IDE.

Apêndice C: Apresenta o conteúdo da programação em linguagem binária para a simulação realizada no ambiente Remix IDE.

Apêndice D: Aporenta o conteúdo do bloco gravado na simulação

Apêndice E: Apresenta o resumo dos artigos apresentados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem o objetivo de apresentar uma revisão da literatura relevante sobre o assunto pesquisado trazendo os conteúdos dos autores estudados para preparação da pesquisa, considerando os conceitos fundamentais necessários sobre cadeia de suprimentos, com seus fatores relacionados principalmente à rastreabilidade de produtos e interoperabilidade de sistemas, sobre SCOR como uma ferramenta importante de padronização de processos e informações na cadeia de suprimentos, que permite fazer desse trabalho aplicável em outros segmentos de negócio e Blockchain, a principal tecnologia discutida para um novo *Framework* de gestão da informação da cadeia de suprimentos discutido como foco central dessa pesquisa.

2.1. Cadeia de Suprimentos

A cadeia de suprimentos é formada por empresas organizadas para fornecer uma determinada entrega de um produto ou serviço a um cliente. Os estágios de transformação são interconectados por mercadorias, fluxos financeiros e fluxos de informação, que são regulados de acordo com uma determinada estratégia que busca desempenho operacional. (KÖHLER et al., 2021)

O surgimento do termo cadeia de suprimentos na década de 1980 no meio industrial e a crescente utilização dos conceitos em outras áreas fez com que a produção de conteúdo literário crescesse consideravelmente nos últimos anos trazendo muitas diferentes abordagens em termos de metodologia e ferramentas de gestão nos últimos anos (STADTLER, 2005).

A cadeia de suprimentos é uma rede de organizações que se relacionam entre si de ponta a ponta com ligações e interações diferentes em processos distintos e atividades que produzem valor na transformação de produtos e fornecimento de serviços desde o início da cadeia até o consumidor final. Essa definição considera todas as atividades que estão relacionadas ao atendimento das necessidades do consumidor e do atendimento de pedidos conhecido como *Order Fulfillment*, considerando todos os fluxos correspondentes em termos de materiais, informações e financeiro. (STADTLER, 2005).

Pode ser definida também como uma rede global de organizações que cooperam entre si para melhorar o fluxo de materiais e informações entre fornecedores e clientes ao menor custo e maior velocidade possíveis com o objetivo de satisfazer o consumidor (IRWIN, 2002).

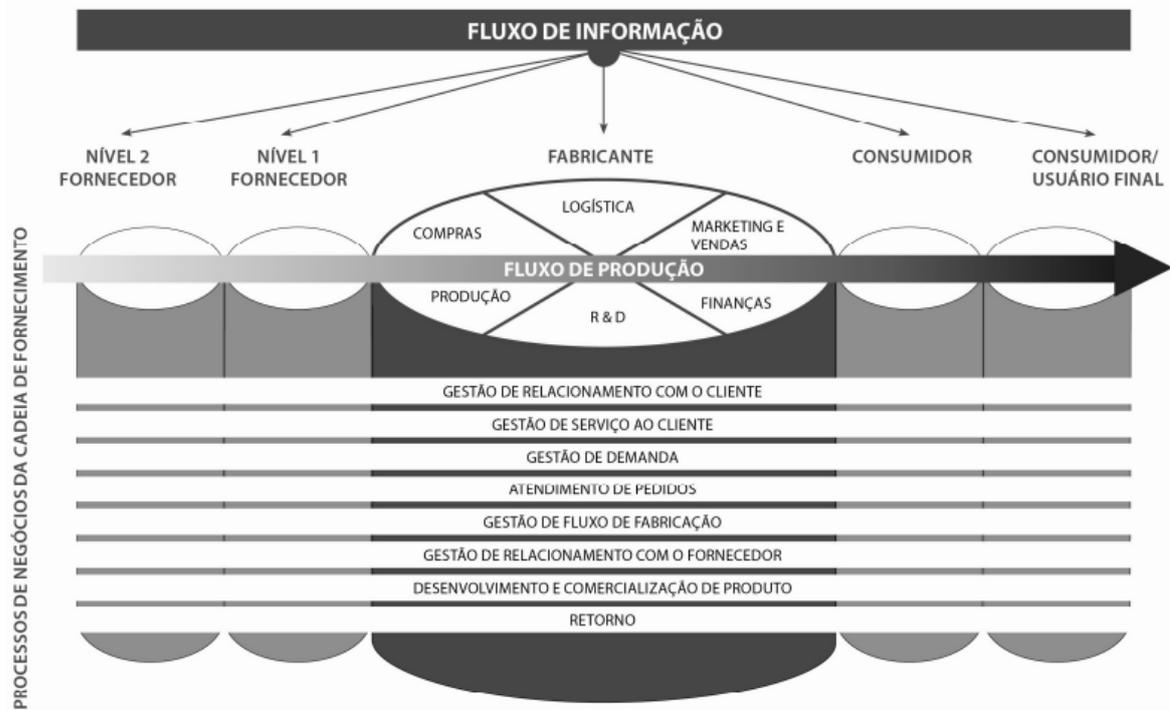
A cadeia de suprimentos foi originalmente conceituada por consultores no início da década de 1980 e, conseqüentemente foi muito utilizada nos anos seguintes baseando-se na definição do fluxo de produtos a partir do ponto de origem colaborando para a definição do Conselho de Gestão Logística (CLM) em 1986. A logística define-se neste primeiro momento como uma ligação entre cliente e fornecedor, e torna-se a base para a orientação da cadeia de suprimentos do ponto de origem ao ponto de consumo (LAMBERT 2014).

Tradicionalmente, a cadeia de suprimentos é definida como uma rede de negócios e relacionamentos entre diferentes agentes que oferecem a oportunidade de sinergia entre as empresas para realização dos processos de transformação de produtos buscando excelência operacional e de processos a partir do relacionamento entre os membros dessa rede (LAMBERT 2014).

Desde 1992, um grupo de empresas que compõem o *The Global Supply Chain Forum* busca constantemente trabalhar e desenvolver a definição da cadeia de suprimentos, criação de teorias e documentação de boas práticas da cadeia de suprimentos a partir da participação de grupos de executivos não concorrentes e um time de pesquisadores acadêmicos (LAMBERT 2014).

A visão tradicional definida pelo grupo no final da década de 1990 para a cadeia de suprimentos mostra uma estrutura com fluxo de informações e de produtos que avança de maneira linear entre os componentes da cadeia de suprimentos. Ilustra também a integração dos processos necessários entre os papéis de fornecedor e cliente, em cada um dos elos da cadeia e ressalta, a necessidade de processos padronizados, para gerenciamento da cadeia de suprimentos conforme ilustrado na Figura 1 (LAMBERT 2014).

Figura 1 - Integrando e gerenciando processos através da cadeia de suprimentos.



Baseado em (LAMBERT 2014).

A estrutura de uma cadeia de suprimentos de um fabricante com dois níveis de clientes e dois níveis de fornecedores, por exemplo, ilustra o fluxo de produtos e informações incluindo os oito processos principais da cadeia de suprimentos que cada uma das organizações deve implementar (Figura 1). Todos os processos devem ser integrados a nível funcional e empresarial fazendo com que cada parceiro tenha que implementar exatamente o mesmo processo. (LAMBERT 2014).

O conceito de cadeia de suprimentos foi atualizado de logística integrada, que refletia apenas a relação cliente e fornecedor, para a gestão e integração de processos e parceiros ao longo de uma estrutura de suprimentos, diferenciando e posicionando a logística como uma parte integrante da cadeia de suprimentos que controla, gerencia, planeja e implementa fluxos de materiais diretos e reversos entre o ponto de origem e de consumo das mercadorias para atendimento das necessidades dos clientes (LAMBERT 2014).

O crescimento das necessidades do mercado consumidor é substancial e colabora para o desenvolvimento e criação de novas cadeias de suprimentos entre parceiros de negócio e novas empresas no mercado fazendo com que os requisitos, características e fatores que influenciam no fluxo de materiais e informações sejam cada vez mais importantes no resultado financeiro da organização (DING *et al.*, 2021).

O atendimento do mercado consumidor a partir da organização de parceiros e empresas que trabalham na transformação das matérias primas a partir de processos, produtos e serviços atendendo as suas necessidades com a combinação das etapas de abastecimento, produção e distribuição logística a partir da criação de fluxos de materiais, de informação e financeiros forma o que se conhece por cadeia de suprimentos e exige gerenciamento e inteligência para entrega de valor aos clientes (ZENG *et al.*, 2021)

A cadeia de suprimentos deve ser desenhada de modo a atender as necessidades dos clientes por ela atendida, em produtos e serviços fornecidos através dos pontos de atendimento. A complexidade da cadeia de suprimentos é determinada pela quantidade, tipos e características de produtos, preço, tempo de atendimento e serviço prestado pós venda (SAIKOUK; SPALANZANI, 2016). Adicionalmente, existem outros fatores complicadores de gerenciamento da cadeia de suprimentos como por exemplo a distribuição geográfica de fornecedores e clientes e a variedade de produtos movimentados (HAJIPOUR *et al.*, 2019).

A gestão da cadeia de suprimentos é definida como o planejamento e gerenciamento de todas as atividades envolvidas em abastecimento e compras, conversão e transformação de materiais, e gerenciamento de todas as atividades logísticas necessárias para realização dessa movimentação, incluindo o gerenciamento de fornecedores, intermediários, parceiros, prestadores de serviços e clientes (KAMBLE *et al.*, 2019).

A atividade de gerenciamento da cadeia de suprimentos está relacionada ao planejamento e gerenciamento de todas as atividades relacionadas com funções que dependem de eficiência operacional de uma rede de abastecimento, incluindo abastecimento, estocagem e transporte de mercadorias para atendimento da demanda do mercado consumidor. As atividades desempenhadas envolvem decisões operacionais como políticas de estoque, planejamento de produção e roteirização de entregas,

atualizadas diariamente e decisões táticas como capacidades de processamento e prazos médios de atendimento (LEJARZA *et al.*, 2021)

As cadeias de suprimento devem ser gerenciadas com o objetivo de atingir a excelência dos processos e racionalização de recursos ao longo do processo de transformação desde fornecedores, armazéns, fábricas e pontos de distribuição, de modo a garantir eficiência operacional e efetividade de custos em toda a cadeia beneficiando e garantindo a rentabilidade de todos os participantes, atendendo aos requisitos de sustentabilidade exigidos pelo mercado (SALCEDO-DIAZ *et al.*, 2021).

As empresas buscam alcançar o lucro máximo em suas operações realizando todas as atividades empresariais com o menor custo possível sendo, a gestão da cadeia de suprimentos, uma das possíveis soluções desse problema. O esforço é feito para o fornecimento de produtos e serviços para um mercado consumidor final ao menor custo possível, o que requer que existe inteligência de gestão, investimentos em automação, tecnologia, criatividade e inovação nas cadeias de suprimentos (MEHTA *et al.*, 2021).

A existência de uma cadeia de suprimentos mais complexa incluindo grupos de empresas e filiais, distribuição geográficas e negócios globais, torna-se necessário uma gestão hierárquica entre as organizações aumentando ainda mais a dificuldade de coordenação das empresas e aumentando as necessidades e desafios dos gestores na definição de métricas e metodologias de gestão e controle eficazes (STADTLER, 2005).

De acordo com Aich, *et al.*, (2019) os principais desafios enfrentados pelas empresas que operam suas atividades em cadeias de suprimentos tradicionais são resumidos no Quadro 1.

Existe uma grande distância em termos de informação entre os usuários finais de um produto e um fornecedor de matéria prima em uma cadeia de suprimentos, que aumenta ainda mais a necessidade de criação de transparência em diferentes setores industriais e cria uma lacuna no compartilhamento de informações no sentido de atender as necessidades dos usuários que cresce à medida que a digitalização e outras tecnologias moldam o comportamento do consumidor (ZENG *et al.*, 2021).

Quadro 1 - Desafios da cadeia de suprimentos. Fonte: (AICH et al., 2019).

Elemento	Descrição
Falta de Visibilidade	Falta de visibilidade ponta a ponta na cadeia de suprimentos pode criar problemas como fraudes, violações diversas, ética, problemas comportamentais diversos.
Falta de flexibilidade	Falta de flexibilidade para atendimento de mudanças repentinas de demanda cada vez mais frequentes em operações globais afetando diretamente os custos logísticos.
Falta de Confiabilidade	Falta de confiabilidade na interação entre os participantes da cadeia de suprimentos influenciando negativamente no fluxo de informações entre os parceiros.
Ineficiências	Ineficiência da cadeia de suprimentos refletindo na gestão dos processos, riscos e sistemas que não permitem reação rápida e predição de riscos em situações adversas.
Falta de tecnologias avançadas	Abordagens tradicionais de gestão da cadeia de suprimentos não se utiliza de tecnologias avançadas para lidar com problemas repentinos de mudança de demanda, comuns em mercados globalizados.

O mercado tem exigido das empresas um maior foco no consumidor em termos de aumento de eficiência em suas operações logísticas e, no desenvolvimento de excelência operacional principalmente nos pontos que são percebidos pelos consumidores (STOCK *et al.*, 2010) que, estão cada vez mais exigentes em termos de qualidade de produtos e serviços buscando velocidade, confiabilidade e consistência nos serviços de entrega (HAJIPOUR *et al.*, 2019).

A estrutura de rede entre as empresas envolvidas em uma cadeia de suprimentos mostra que, elas não operam individualmente e isoladamente, mas de maneira complementar às atividades umas das outras fazendo com que a cadeia de suprimentos possa ser vista como uma entidade global, formada por parceiros que cooperam entre si para atender uma estratégia particular de negócios (IRWIN, 2002).

A cadeia de suprimentos se refere à organização de negócios entre um grupo de parceiros e membros que trabalham organizadamente em uma cadeia de transformação de valor, e movimentam materiais desde matérias primas até produtos acabados, transformando os produtos e serviços ao longo desse processo. A cadeia de suprimentos

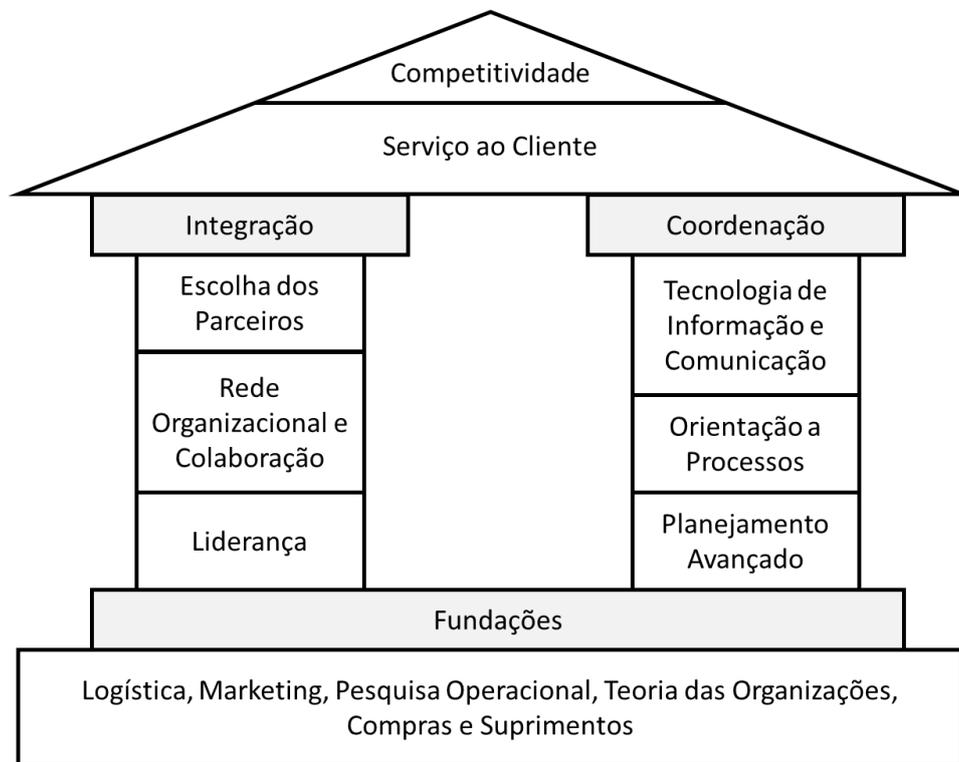
necessita de gerenciamento a fim de assegurar que cada um dos seus membros e parceiros sejam capazes de entregar o melhor resultado de maneira equilibrada entre responsividade, flexibilidade e custo de servir (MOKHESENG *et al.*, 2017).

A cadeia de abastecimento é uma estrutura complexa com um grande número e variedade de entradas e saídas, e também um grande número de parceiros, tornando muito difícil o seu gerenciamento. Os problemas mais comuns são falta de transparência, baixa rastreabilidade, contrabando, falsificação de produtos e documentos, alto volume de documentação, altos índices de erros humanos e necessidade acompanhamento de transações financeiras colocando em risco o desempenho da cadeia e o atendimento do cliente (BUDAK; ÇOBAN, 2021).

A garantia do equilíbrio entre os participantes de uma cadeia de suprimentos é definida nos relacionamentos estabelecidos entre cada uma das empresas, de forma que concorrentes consigam trabalhar equilibradamente e a política de trabalho definida seja suficiente para equilibrar cargas de trabalho, benefícios, riscos, perdas e resultados para evitar que disputas internas afetem negativamente a cadeia de suprimentos (IRWIN, 2002).

O principal objetivo de uma cadeia de suprimentos, conforme ilustrado na Figura 2, é também entregar competitividade, posicionando estrategicamente a cadeia de suprimentos em comparação com os concorrentes de sua empresa, focando a diferenciação no atendimento das necessidades do consumidor. Essa atividade é sustentada por dois grandes pilares de integração e de coordenação da cadeia de suprimentos que sustenta e projetam as qualidades, características e processos necessários para coordenação do fluxo de produtos, informação e valores destinados ao atendimento dos clientes de maneira competitiva (STADTLER, 2005).

Figura 2 - Estrutura da Gestão da Cadeia de Suprimentos.



Adaptado de (STADLER 2005).

A integração da cadeia de suprimentos é composta pela escolha e integração dos parceiros organizacionais adequados que dentro de suas capacidades, limitações e características possam atender às necessidades do cliente final da cadeia de suprimentos formando uma rede organizacional entre parceiros da cadeia de suprimentos com riscos controlados e excelência operacional liderados pelo processo de gestão da cadeia de suprimentos (STADTLER, 2005).

O gerenciamento da cadeia de suprimentos é definido pela atividade de gestão que busca a integração organizacional de todos os participantes da cadeia de suprimentos coordenando fluxos de materiais, informações e financeiros de modo que combinadamente possam atender e suprir as necessidades do cliente final e do mercado de maneira competitiva e gerando valor como um todo (STADTLER, 2005).

O gerenciamento das relações na rede formada por parceiros da cadeia de suprimentos e integração eficiente dos participantes dessa cadeia, desde o primeiro fornecedor ao último cliente no processo de transformação de valor, é necessário para

suportar a estratégia do negócio e gerar valor a todos os stakeholders e, deveria ser realizado por um processo multifuncional para um gerenciamento completo e adequado buscando a satisfação dos níveis de serviço desejados pelos clientes (LAMBERT; ENZ, 2017).

Adicionalmente, os gestores buscam implementar processos de negócio e integrá-los com outros membros da cadeia de suprimentos. Os processos são definidos por um conjunto de atividades organizadas que trazem um resultado esperado para atendimento das necessidades dos clientes. Eles devem ser utilizados como meios de integração das funções corporativas de uma empresa e conseqüentemente de uma cadeia de suprimentos composta por diversas empresas e serão essenciais para o gerenciamento do relacionamento entre as empresas. (LAMBERT, 2014).

A integração de duas empresas a partir de uma conexão de dados pode ser também considerada uma cadeia de suprimentos, entendendo que as atividades internas de uma delas afete diretamente as atividades da outra à qual está conectada podendo impactar e colaborar para o atendimento do consumidor final. Nomes diferentes podem ser utilizados para processos similares e um mesmo nome pode ser utilizado para processos diferentes dificultando a integração das empresas e criando problemas de ineficiência e gerenciamento apenas por conta de terminologias (LAMBERT, 2014).

O sucesso da integração das empresas em uma cadeia de suprimentos exige consistência entre as empresas em termos de terminologias, linguagens e processos, incluindo o entendimento comum entre os grupos de processos executados pela cadeia de suprimentos. É importante que exista uma terminologia comum entre as empresas da cadeia de suprimentos para que possam garantir a eficiência operacional e evitar rupturas de abastecimento por inconsistências, uma vez que o volume de processos pode variar entre diferentes estágios da cadeia de suprimentos. (LAMBERT, 2014).

O fluxo de informações e financeiro de uma cadeia de suprimentos se move do final para o começo da cadeia, ou seja, do mercado consumidor em direção aos fornecedores da cadeia. Os produtos se movem do início para o final em um fluxo físico que vai dos fornecedores em sentido ao mercado sofrendo aumento de valor agregado até disponibilização e venda do produto acabado ao consumidor final (IRWIN, 2002).

Os fluxos exigem que exista uma forte coordenação entre os parceiros de uma cadeia de suprimentos exigindo maiores ou menores habilidades em função da complexidade do mercado e do negócio para garantir o movimento a menor custo e maior velocidade de atravessamento possíveis satisfazendo as necessidades do consumidor (IRWIN, 2002).

A coordenação busca alinhar os fluxos de materiais, informação e financeiros ao longo da cadeia de suprimentos englobando todas as estruturas e parceiros nesse interim, considerando construção e compartilhamento de previsões de demanda, dados de vendas, ordens e construindo colaboração para garantir redução de *lead times* e efeito chicote. A orientação por processos ajuda a reduzir as barreiras entre as organizações participantes colaborando com prazos, qualidade e custos das atividades. O planejamento avançado permite trabalhar um planejamento hierárquico entre as empresas permitindo a orientação de toda a cadeia de suprimentos à demanda do mercado (STADTLER, 2005).

A cadeia de suprimentos deve ser também concebida para satisfazer as necessidades dos consumidores, em produtos e serviços ofertados a partir dos pontos de atendimento. A complexidade da cadeia de suprimentos é determinada pela quantidade, tipos e características de produtos, preços, tempo de serviço, e serviços pós-venda (SAIKOUK; SPALANZANI, 2016) incluindo aspectos tributários e estratégias de movimentação de produtos para garantia da rentabilidade da operação e dos modelos de negócio entre os parceiros (DING *et al.*, 2021).

Adicionalmente, existem outros fatores de complicação na cadeia de suprimentos que estão relacionados ao gerenciamento da distribuição geográfica de clientes e fornecedores e também a variedade dos produtos movimentados (HAJIPOUR *et al.*, 2019).

Na cadeia de suprimentos, todos os parceiros devem poder fazer suas escolhas e decisões de maneira livre assumindo responsabilidades sobre essas movimentações e garantindo que as decisões estejam de acordo com as expectativas e necessidades dos demais parceiros para garantir que os fluxos de informação e de produtos ao longo do processo de transformação possam atender ao final as necessidades do consumidor (IRWIN, 2002).

Diferentes cadeias de suprimento podem necessitar de diferentes estruturas de dados para construção de sistemas de rastreamento com base nas informações relevantes para cada tipo de produto, estratégias de produção e distribuição e diferentes modelos de negócio. Empresas com cadeia de suprimentos ágeis, que utilizam manufatura *just-in-time*, operações Lean e gerenciamento com base em fluxo de produtos podem se beneficiar de uma rastreabilidade centrada no produto. Empresas cujos processos são mais tradicionais, fundamentadas em lotes maiores de produção, estratégias de empurrar o fluxo, e unitização de produtos, podem se beneficiar de outros tipos de informação em suas bases de informação (MUSA *et al.*, 2014).

As cadeias de suprimentos possuem numerosos problemas de transparência e eficiência que frequentemente causam problemas e ameaças aos produtores de matérias primas, enfrentando constantemente desconexões nas trocas de informações entre os diversos fornecedores e intermediários presentes na cadeia de suprimentos, promovendo falta de transparência e visibilidade na cadeia devido a discrepância e inconsistência na informação, falta de interoperabilidade e falta de informação para rastreabilidade de produtos (KAMBLE *et al.*, 2019).

O desenvolvimento e aumento de complexidade dos mercados globais atendidos pelas cadeias de suprimento criam um cenário em que a vulnerabilidade dessas cadeias aumenta e pode resultar em rupturas por fatores não controlados como desastres naturais, crises e eventos epidêmicos cujos resultados influenciam negativamente na disponibilidade de produtos e podem afetar os negócios. Os últimos exemplos causados pela pandemia de COVID-19 confirmam a baixa resiliência de muitas cadeias de suprimento internacionais gerando diversas perdas financeiras em instituições ao redor do mundo (SABOUHI *et al.*, 2021).

Os participantes de muitas cadeias de suprimento se encontram dispersos geograficamente fazendo com que os atributos de performance variem entre eles colocando em risco a sustentabilidade da cadeia de suprimentos e a estabilidade dos processos e atividades fazendo com que a rapidez na comunicação e precisão nas informações sejam importantes entre os parceiros para evitar rupturas (SABOUHI *et al.*, 2021).

A cadeia de suprimentos é também um sistema complexo e as redes de suprimentos podem ser vistas como redes complexas com sistemas adaptáveis que

necessitam de informações resultantes de processamento de dados e atividades físicas realizadas pelas empresas dessa rede. A informação deve suportar as organizações nos processos decisórios e melhoria de performance podendo-se valer da implementação de Blockchain para garantir melhor performance em vendas, custos e abastecimento do mercado consumidor (WAMBA *et al.*, 2020).

A possibilidade de rastreabilidade proporcionada pelo Blockchain, juntamente com a autenticidade da informação e permitindo transações em tempo real entre os participantes da cadeia de suprimentos permite diversas melhorias processuais em termos de segurança transacional e velocidade da informação garantindo a segurança do produto e favorecendo a sustentabilidade do processo (KAMBLE *et al.*, 2019).

Ao longo dos últimos anos, muitas ferramentas de análise quantitativa e sistemas complexos para avaliação de uma rede de suprimentos foram utilizadas por diversos autores e profissionais para determinar e projetar modelos de negócio que encontravam certas limitações em termos de adaptabilidade às mudanças de mercado e para *Benchmarking* com outras operações. Nesse sentido, a metodologia SCOR permite uma abordagem mais completa e padronizada na criação, reestruturação e gerenciamento das cadeias de suprimento (PERSSON, 2011).

2.1.1. SCOR – Supply Chain Operations Reference

A utilização de indicadores de desempenho apropriados e comparáveis em diferentes estágios da cadeia de suprimentos, metodologia adequada e abordagens estruturadas fazem com que o modelo SCOR (*Supply Chain Operations Reference*) proposto pelo *Supply Chain Council* seja uma alternativa apropriada para empresas de operações locais e globais avaliarem a desempenho da sua cadeia de suprimentos pois permite a identificação do nível apropriado de indicadores para avaliação de desempenho de acordo com o nível estratégico avaliado (LEMGHARI *et al.*, 2018).

O SCOR é um modelo de referência para a cadeia de suprimentos que pode ser aplicado em qualquer área de negócio, dentre todos os modelos criados, foi o primeiro modelo de referência reconhecido internacionalmente e padronizado que cobre todos os tipos de indústria e aplicações, estruturado por processos e pode ser dividido em níveis

utilizados para avaliar qualquer cadeia de suprimentos descrevendo cinco macro processos que determinam a base de desempenho competitivo (HUO, 2011).

O modelo SCOR apresenta e descreve processos e não funções ou instruções de trabalho e busca a conexão entre os elementos identificados nos processos, métricas e melhores práticas nos aspectos relacionados à execução dos processos da cadeia de suprimentos, refletindo na integração de todas as interações com os clientes e transações físicas da operação. (IGNÁCIO, 2010).

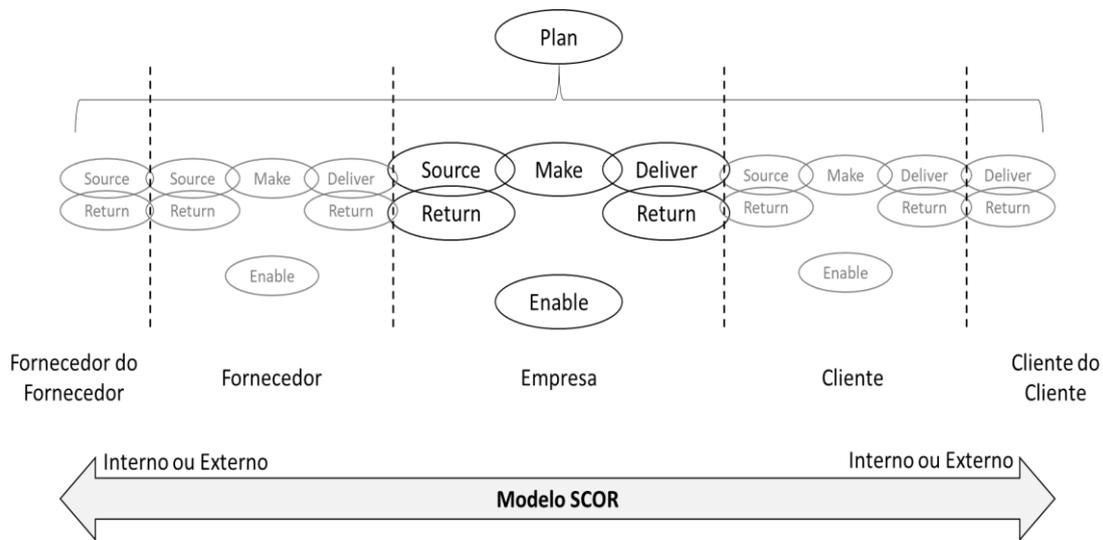
O SCOR aparenta ser aplicado como modelo de organização de cadeias de suprimento com maior intensidade no meio automotivo pela necessidade de construção de alta desempenho nos processos e da necessidade de um alto nível de competitividade global das empresas do setor buscando a otimização e racionalização máxima da cadeia de valor em processos de alto nível de excelência operacional, alcançada pela orientação à processos da metodologia, da criação de uma linguagem comum para *Benchmarking* entre empresas e adoção das melhores práticas operacionais (LEMGHARI *et al.*, 2018).

O modelo SCOR oferece ferramentas padronizadas e metodologia, diagnóstico e *Benchmarking* para que as empresas possam realizar melhorias de impacto e com velocidade em seus processos de *Supply Chain*, colaborando para o desenvolvimento das empresas na mesma velocidade que os desafios aumentam no mercado, desenvolvendo pessoas, processos e ferramentas para garantir um gerenciamento de desempenho de ponta a ponta (APICS, 2017).

Por essa razão, empresas dos mais diferentes segmentos buscam a aplicação da metodologia e do modelo SCOR para desenho e padronização das suas cadeias de suprimentos buscando melhorias sistêmicas em seus processos e negócios, potencializando retorno sobre ativos e investimentos, construção de competitividade e otimização operacional da cadeia de suprimentos baseados em critérios globais de qualidade dentro da metodologia (LEMGHARI *et al.*, 2018).

O modelo SCOR foi desenvolvido para descrever as atividades de negócio relacionadas com as fases do atendimento das necessidades da demanda dos consumidores. O modelo contém diversas seções e é organizado em seis processos primários: PLAN, SOURCE, MAKE, DELIVER, RETURN e ENABLE, como ilustrados na Figura 3.

Figura 3 - Os seis macro processos SCOR.



Adaptado de (APICS 2017).

O desenho das cadeias de suprimento com base nesse bloco permite a descrição de cadeias simples ou complexas utilizando definições e métricas comuns. O resultado dessa abordagem é que empresas de diferentes graus de maturidade podem ser conectadas e entendidas no nível necessário de profundidade de maneira a promover oportunidades de desenvolvimento global da cadeia de suprimentos ou projetos específicos de melhoria operacional (APICS, 2017).

O SCOR é um *framework* de processos da cadeia de suprimentos que inclui objetivos, métricas, habilidades e melhores práticas e tem sido utilizado por diversas empresas e estudos por diversos grupos nos últimos anos e é considerado de fato o melhor modelo padronizado para avaliação de cadeias de suprimentos em vários setores. A metodologia tem sofrido atualizações importantes desde sua criação adaptando-se às necessidades dos mercados consumidores, garantindo a qualidade do modelo como ferramenta de suporte para decisões estratégicas (VEGTER et al., 2020).

Os participantes internos e externos de uma cadeia de suprimentos são representados na estrutura do SCOR, possibilitando a visão ponta a ponta, ou *end-to-end* que reflete além da empresa, os fornecedores, fornecedores de fornecedores, clientes e clientes dos clientes até o usuário final. Dessa maneira, as análises de fluxo de material,

conexões, riscos e trocas de informação se tornam mais fáceis de mapear, controlar e gerenciar (HUO, 2011).

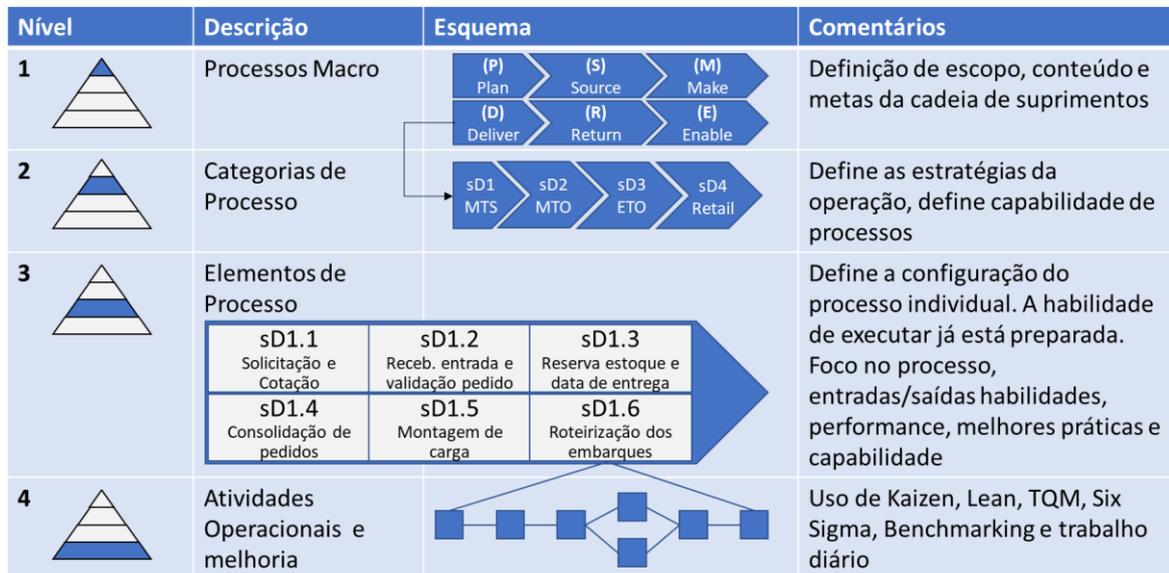
O modelo SCOR é considerado um dos mais rigorosos métodos de avaliação de desempenho de uma cadeia de suprimentos utilizado como base das tomadas de decisão de nível estratégico e possui dentro dos seus cinco macro processos quatro que são físicos (*Source, Make, Deliver e Return*) que são coordenados por um quinto processo não físico (*Plan*). O modelo reúne todos os processos e operações realizadas em uma cadeia de suprimentos de ponta a ponta (KAMBLE et al. 2020).

A organização dos macro processos SCOR auxiliam na construção de blocos de atividades para o mapeamento da cadeia de suprimentos e refletem as principais operações envolvidas em uma cadeia de suprimentos permitindo dessa maneira, a medição de desempenho com base em métricas claras e definidas de acordo com os atributos determinados na metodologia auxiliando na execução da estratégia (VEGTER et al., 2020).

O SCOR abrange todas as interações com o cliente, desde a entrada do pedido até o pagamento da fatura, todas as transações físicas de materiais incluindo o fornecedor do fornecedor e o cliente do cliente, equipamentos, fontes de suprimento, componentes, produtos granéis, softwares, etc., interações com o mercado e atendimento de pedidos (*Order Fulfillment*). O processo, porém, é limitado à cadeia de suprimentos, não tocando assuntos como geração de demanda, desenvolvimento de produtos, pesquisa e desenvolvimento (P&D) e vendas (APICS, 2017).

O SCOR possui três níveis de detalhamento nos processos da cadeia de suprimentos, sendo o primeiro nível responsável pela definição do escopo das cadeias de suprimento, como a desempenho deve ser medida e requerimento dos atributos de competitividade. O segundo nível apresenta a configuração do planejamento execução do fluxo de material e estratégias de fluxo a partir das categorias definidas. O terceiro nível fornece processos para funcionalidade dos sistemas e das atividades de processamento de ordens de clientes, sendo a base para a construção interna do quarto nível em cada empresa, que não é previsto no SCOR pois trata processos e instruções de trabalho de nível operacional e transacional, fomentando atividades de melhoria contínua e deve ser detalhado pela própria empresa a partir das formatações e metodologias desenvolvidas nos níveis anteriores, conforme detalhado na Figura 4 (LEMGHARI et al., 2018).

Figura 4 - Hierarquia de processos do SCOR.



Adaptado de (APICS 2017).

O modelo SCOR é uma referência de processos e o propósito deste tipo de modelo é definir uma arquitetura que permita o alinhamento de pontos chave em funcionalidades e metas de negócios, mostrando como os processos devem interagir e desempenhar, como são configurados e os requerimentos e habilidades das pessoas que gerenciam tais processos. As medições do modelo são divididas em quatro seções: (i) Desempenho: Métricas padronizadas para descrição da desempenho do processo de definição de metas estratégicas; (ii) Processos: Descrições padronizadas de gerenciamento dos processos e interação entre os processos; (iii) Práticas: Práticas gerenciais que produzem resultados significantes em desempenho de processos; (iv) Pessoas: definições para as habilidades e competências requeridas para executar processos da cadeia de suprimentos com sucesso (APICS, 2017).

A aplicação da metodologia SCOR nas empresas resulta no aumento da visibilidade de informação, equilíbrio da relação fornecimento e demanda, atendimento de padrões específicos e regulamentações dos diferentes segmentos de negócios, gerenciamento de fluxos e gerenciamento de recall fornecendo aos gestores a possibilidade de uma avaliação completa para identificação de pontos fortes e fracos da

cadeia de suprimentos para melhoria da eficiência global do sistema (KAMBLE *et. al.*, 2020a).

O modelo SCOR tem sido utilizado por gestores de diversos tipos de indústria e negócios como uma ferramenta de gestão de desempenho por oferecer métricas claras, comparáveis entre os diferentes participantes da cadeia de suprimentos e também estar alinhado com os atributos necessários para o atendimento do cliente, considerando a incorporação da atmosfera comercial desde o início da produção (LEMGHARI *et al.*, 2018).

Estudos mostram resultados relacionados ao aumento de visibilidade na cadeia de suprimentos das empresas a partir da aplicação do SCOR. Os maiores impactos estão relacionados a atividades operacionais e de planejamento incluindo desenho da cadeia de suprimentos resultando diretamente no aumento do desempenho e da competitividade das empresas. (KAMBLE *et. al.*, 2020a).

A seção do SCOR que apresenta as estruturas de desempenho, como demonstrado no Quadro 2, foca na medição e avaliação das saídas da execução dos processos da cadeia de suprimentos com uma abordagem compreensiva que permite entender, avaliar e diagnosticar o desempenho na cadeia de suprimentos com base em três elementos: Atributos de Desempenho, Métricas e Maturidade de Processos (APICS, 2017).

Quadro 2 - Elementos de desempenho da cadeia de suprimentos. Adaptado de (APICS 2017).

Elemento	Descrição
Atributos de Desempenho	Características estratégicas de desempenho da cadeia de suprimentos para alinhar o desempenho às estratégias do negócio.
Métricas	Medições discretas de desempenho que podem ser comparadas aos níveis hierárquicos conectados.
Maturidade de Processo	Descrições objetivas e específicas usadas como modelo de referência para avaliar quão bem os processos da cadeia de suprimentos e as práticas estão incorporadas, sendo executadas e execução das melhores práticas.

Os atributos de desempenho do SCOR estão organizados em dois grupos: um grupo focado no cliente que orienta a desempenho com confiabilidade, responsividade e agilidade da cadeia de suprimentos e, um segundo grupo que tem foco interno e avalia os desempenhos de custo, gestão de ativos, todos apresentados dentro da seção de atributos de desempenho conforme Quadro 3 (APICS, 2017).

Quadro 3 - Atributos de desempenho do SCOR. (APICS 2017).

Atributo de Desempenho	Descrição
Confiabilidade	Mede a habilidade de performar tarefas conforme esperado e foca na previsibilidade da saída do processo.
Responsividade	Mede a velocidade que cada uma das tarefas é executada resultando na velocidade que a cadeia de suprimentos, após acionada, entrega um produto ao cliente.
Agilidade	Mede a habilidade de resposta a influenciadores externos e a habilidade de responder a mudanças mercadológicas para ganhar ou manter vantagem competitiva.
Custos	Reflete o custo total de operação dos processos da cadeia de suprimentos, incluindo custo de mão de obra, material, gerenciamento e transportes.
Eficiência em gestão de ativos	Mostra a habilidade na utilização de ativos de maneira eficiente considerando os resultados da gestão estratégica de ativos refletindo as decisões de redução de estoques, produção interna ou terceirizada e estratégias de gestão.

Cada um dos atributos de desempenho do SCOR pode apresentar uma ou mais métricas de primeiro nível, que são cálculos que permitem a organização medir o sucesso de seu posicionamento com base em uma estrutura proposta pelo modelo e assim entender seu posicionamento competitivo com relação ao atendimento do mercado, observados no Quadro 4 (APICS, 2017).

Os processos da cadeia de suprimentos são apresentados no SCOR com descrições pré-definidas das atividades mais comuns entre as empresas em suas cadeias de suprimentos. Existem seis processos SCOR de nível macro chamados de: PLAN,

SOURCE, MAKE, DELIVER, RETURN e ENABLE que são bem conhecidos e largamente adotados (APICS, 2017).

Quadro 4 - Métricas de primeiro nível SCOR. (APICS 2017).

Atributo de Desempenho	Métrica estratégica (Nível 1)
Confiabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Perfect <i>Order Fulfillment</i> (RL.1.1)
Responsividade	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Order Fulfillment</i> Cycle Time (RS.1.1)
Agilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Upside <i>Supply Chain</i> Adaptability (AG.1.1) • Downside <i>Supply Chain</i> Adaptability (AG.1.2) • Overall Value at Risk (AG.1.3)
Custos	<ul style="list-style-type: none"> • Total <i>Supply Chain</i> Management Costs (CO.1.1) • Cost of Goods Sold (COGS) (CO.1.2)
Eficiência em gestão de ativos	<ul style="list-style-type: none"> • Cash-to-Cash Cycle Time (AM.1.1) • Return on <i>Supply Chain</i> Fixed Assets (AM.1.2) • Return on Working Capital (AM.1.3)

Cada um dos processos possui três níveis de detalhamento conforme mostrado anteriormente. Eles referem-se a passos de processos que devem ser executados ordenadamente para garantir o fluxo na cadeia de suprimentos desde a aquisição, manufaturam entrega e retorno dos produtos ou insumos por ele gerados (APICS, 2017).

O processo é uma atividade unicamente performada que busca atingir um resultado pré-definido. Os processos no SCOR foram identificados como processos únicos da cadeia de suprimentos que precisam ser executados para alcançar o objetivo primário de atender a demanda dos clientes. Para cada um dos macro processos existe um detalhamento. (APICS, 2017).

As empresas podem construir processos de nível 4 como uma instrução interna e detalhada do processo nível 3, que fornecerão informações e guia para execução de tarefas específicas e detalhadas no nível operacional, muito semelhantes a instruções de trabalho. Um exemplo de detalhamento pode ser o processo sD1.2 que trata de recebimento de pedidos. Ele define como o pedido deve ser recebido e o processo nível 4 criado

internamente pela empresa pode ser necessário para descrever como o colaborador deve tratar o pedido recebido nos canais definidos no processo nível 3 (APICS, 2017).

O nível de detalhamento de cada processo a ser descrito depende das necessidades da operação. Em muitas situações, as descrições no nível 2 já podem apontar deficiências estruturais na cadeia de suprimentos. Os processos do nível 3 detalharão os pontos de decisão e gatilhos da operação auxiliando na identificação de falhas de conexão entre os integrantes da cadeia de suprimentos (APICS, 2017).

sP – Plan: os processos de planejamento descrevem as atividades associadas como desenvolvimento de planos para operação da cadeia de suprimentos. Os processos de planejamento incluem informações sobre recursos disponíveis, balanceamento de necessidades e recursos para determinação de capacidades e gaps entre demandas e recursos para identificar ações de correção entre esses gaps (APICS, 2017).

sS – Source: os processos de abastecimento descrevem o pedido ou agendamento de entregas e o recebimento de produtos e serviços na operação. Os processos de abastecimento incluem a emissão de pedidos de compras e agendamento de entregas, conferência e armazenamento de mercadorias e confirmação da fatura do fornecedor. Apenas com exceção de produtos do grupo *Engineering-to-Order* (ETO) e serviços, todas as atividades de seleção de fornecedores, qualificação, negociação e emissão de contratos, não estão inclusas no SCOR (APICS, 2017).

sM – Make: os processos de conversão descrevem as atividades associadas à conversão de materiais ou criação de conteúdo para serviços. A conversão de materiais é usada nesse nível porque inclui todos os tipos de conversão de material, produção, manufatura, montagem, processamento químico, reparos, manutenção, revisões, retrabalho, reciclagem, reformas e remanufatura. A principal característica desses processos de conversão é a existência de um ou mais recursos de entrada e um ou mais produtos na saída (APICS, 2017).

sD – Deliver: os processos de entrega descrevem as atividades associadas com a criação, manutenção e atendimento de pedidos de clientes. Os processos de entrega incluem os processos de recebimento e validação de pedidos de clientes, criação de remessas, ordens de entrega, separação, embalagem e despacho de material e faturamento. Os processos de

entrega no varejo trazem uma visão simplificada do grupo *Make-to-Stock* (MTS) da operação de varejo (APICS, 2017).

sR – Return: os processos de devolução estão relacionados ao fluxo reverso de mercadorias. Os processos de retorno incluem a identificação da necessidade de devolução, disponibilização da mercadoria, tomada de decisão, agendamento da devolução, embarque e recebimento da mercadoria devolvida. Reparo, retrabalho e processos de tratamento da mercadoria retornada não estão descritos no processo SCOR (APICS, 2017).

sE – Enable: os processos de facilitação estão associados com o gerenciamento da cadeia de suprimentos e incluem o gerenciamento das regras de negócio, gestão de desempenho, gerenciamento de dados, gerenciamento de recursos, gerenciamento de instalações, gerenciamento de contratos, gerenciamento da rede da cadeia de suprimentos, gerenciamento de assuntos regulatórios, gerenciamento de riscos da cadeia de suprimentos e gerenciamento de aquisições na cadeia de suprimentos (APICS, 2017).

Quadro 5 - Métricas de segundo nível do SCOR. (APICS 2017).

Nível 1	Nível 2	Descrição do Processo SCOR	(continua)
sP		Planejamento	
	sP1	Planejamento da cadeia de suprimentos	
	sP2	Planejamento do abastecimento	
	sP3	Planejamento da conversão	
	sP4	Planejamento da entrega	
	sP5	Planejamento da devolução	
sS		Abastecimento	
	sS1	Abastecimento de produtos <i>Make to Stock</i>	
	sS2	Abastecimento de produtos <i>Make to Order</i>	
	sS3	Abastecimento de produtos <i>Engineer to Order</i>	
sM		Conversão	
	sM1	Conversão de produtos <i>Make to Stock</i>	
	sM2	Conversão de produtos <i>Make to Order</i>	
	sM3	Conversão de produtos <i>Engineer to Order</i>	

Quadro 5 - Métricas de segundo nível do SCOR. (APICS 2017).

Nível 1	Nível 2	Descrição do Processo SCOR	(conclusão)
sD		Entrega	
	sD1	Entrega de produtos <i>Make to Stock</i>	
	sD2	Entrega de produtos <i>Make to Order</i>	
	sD3	Entrega de produtos <i>Engineer to Order</i>	
	sD4	Entrega de produtos Varejo	
sR		Devolução	
	sSR1	Devolução Abastecimento de produto defeituoso	
	sSR2	Devolução Abastecimento de produto MRO	
	sSR3	Devolução Abastecimento de produto em Excesso	
	sDR1	Devolução Entrega de produto defeituoso	
	sDR2	Devolução Entrega de produto MRO	
sE		Facilitação	
	sE1	Gerenciar Regras de Negócio na Cadeia de Suprimentos	
	sE2	Gerenciar Desempenho da Cadeia de Suprimentos	
	sE3	Gerenciar Dados e Informações da Cadeia de Suprimentos	
	sE4	Gerenciar Recursos Humanos da Cadeia de Suprimentos	
	sE5	Gerenciar Ativos da Cadeia de Suprimentos	
	sE6	Gerenciar Contratos da Cadeia de Suprimentos	
	sE7	Gerenciar Conexões da Cadeia de Suprimentos	
	sE8	Gerenciar Legalidade e Regulatório da Cadeia de Suprimentos	
	sE9	Gerenciar Riscos da Cadeia de Suprimentos	
	sE10	Gerenciar Aquisições da Cadeia de Suprimentos	
sE11	Gerenciar Tecnologia da Cadeia de Suprimentos		

A seção de medição de performance do SCOR determina a medição e avaliação das saídas dos processos da cadeia de suprimentos durante a execução de suas atividades. Uma abordagem compreensiva e completa para entender, avaliar e diagnosticar o desempenho de uma cadeia de suprimentos é composta de três elementos: Atributos de Performance, Métricas e Maturidade de processo. (APICS, 2017). Elementos esses, que combinados de maneira diferentes em níveis distintos descrevem os aspectos e dimensões do desempenho da cadeia.

Os atributos de performance são características estratégicas do desempenho de uma cadeia de suprimentos usada para priorizar, alinhar e guiar os resultados e desempenhos da cadeia de suprimentos com a estratégia do negócio. É um grupo ou categoria de métricas que são usadas para expressar uma estratégia específica, fazendo com que o atributo em si, que na maior parte das vezes não pode ser medido, como por exemplo uma participação de mercado ou destaque sobre a concorrência em determinado aspecto, sejam medidos e avaliados posicionando a empresa corretamente a partir das métricas definidas (APICS, 2017) conforme explicado no Quadro 5.

As métricas são padrões de medição de desempenho de uma cadeia de suprimentos ou de um processo qualquer e são utilizadas de maneira diagnóstico para comparar o desempenho de uma atividade com um padrão estabelecido como comum ou padrão de referência. As métricas SCOR são divididas em três níveis: o primeiro nível retrata métricas estratégicas de alto nível que estão relacionadas aos KPIs e permitem *Benchmarking*, tomadas de decisão e direcionamento estratégico. O segundo nível trata diagnósticos para métricas de primeiro nível possibilitando uma análise mais aprofundada de causa raiz para gaps de performance do primeiro nível. O terceiro nível funciona de maneira semelhante ao segundo nível sendo de um grau maior de detalhamento na operação (LEMGHARI *et al.*, 2018).

A análise da performance com base nas métricas do primeiro ao terceiro nível é normalmente executada para decomposição e análise do desempenho e estudo de causa raiz dos resultados analisados. (LEMGHARI *et al.*, 2018) A decomposição e detalhamento das métricas permitem um bom nível de detalhes e investigação de maneira estruturada para que os gestores possam avaliar e aprofundar suas análises para futuras ações operacionais conforme apresentado no Quadro 3.

Diversos autores defendem a aplicação de SCOR no mapeamento das cadeias de suprimentos dada sua padronização e funcionalidade, permitindo a identificação de processos em diferentes níveis de detalhamento refletindo o comportamento dinâmico das operações nas cadeias de suprimentos (CHILMON; TIPI, 2020).

O modelo SCOR pode também ser utilizado como um fundamento para mapeamento da cadeia de suprimentos de ponta a ponta focando no mapeamento em vários níveis desde os fornecedores e fornecedores de fornecedores como também, incluindo no mapeamento, clientes e clientes de clientes fornecendo desse modo,

visibilidade sobre os fluxos e conexões da cadeia de suprimentos (MUBARIK *et al.*, 2021).

2.2. Interoperabilidade na Cadeia de Suprimentos

A interoperabilidade é a capacidade de troca de informações entre os elos da cadeia de suprimentos a partir do envio e recebimento de informações entre os parceiros a partir da conexão entre seus sistemas, de modo a permitir que seja possível prever em elos posteriores, a consequência de atividades ou eventos realizadas nos elos anteriores da cadeia de suprimentos permitindo ações de correção ou adequação nos elos posteriores evitando que o problema chegue ao consumidor final (BHATT; ZHANG, 2013).

A interoperabilidade de um sistema é a capacidade de seus componentes de se conectarem, comunicarem e operarem entre si permitindo que exista troca de dados e processamento de informações inteligíveis entre diferentes sistemas garantindo o processamento e respostas rápidas dessa interação (TONELLI *et al.*, 2021).

A capacidade de trocas de informação entre empresas da cadeia de suprimentos garantida pela interoperabilidade garante o alcance de trocas de informações rápidas, perfeitas, seguras e confiáveis reforçando as atividades de cooperação multifuncional e multi-organizacional fortalecendo o planejamento estratégico e a gestão operacional (PAN *et al.*, 2021).

O papel da interoperabilidade digital na cadeia de suprimentos foi particularmente testemunhado e colocado à prova na pandemia COVID-19 em diversas empresas. Um grande número de questões relativas à resiliência e viabilidade das cadeias de abastecimentos diversas ao redor do mundo foram levadas ao limite e, a maioria apresentou claramente problemas relacionados ao fator interoperabilidade digital, como disponibilidade e compartilhamento de informações do fornecedor, serviço de logística disponibilidade de informações operacionais do provedor, ponta mapeamento e monitoramento da cadeia de suprimentos de ponta a ponta (PAN *et al.*, 2021).

A pandemia do COVID-19 aumentou significativamente a pressão sobre as cadeias de suprimentos pelo surgimento de demandas emergenciais de atendimento aos infectados alterando o comportamento dos participantes e a disponibilidade de recursos materiais e de transporte também criando problemas sérios de interoperabilidade em

situações nas quais viabilidade e compartilhamento de informações do fornecedor, disponibilidade de informações operacionais do prestador de serviços logísticos, mapeamento e monitoramento da cadeia de suprimentos de ponta a ponta fossem causa de rupturas. As empresas resilientes capazes de se adaptar à essas mudanças a curto prazo e retomar suas operações mais facilmente após o período de stress sobreviveram ao período com resultados positivos (PAN et al., 2021).

Durante o primeiro semestre de 2020, diversas organizações estavam ou possuíam fornecedores nas áreas isoladas em quarentena que estavam organizados em silos de informação centralizados e não conectados que acabaram mostrando quanto o compartilhamento de informações é falho, lento e limitado. Esse problema pode ser resolvido pelo desenvolvimento de interoperabilidade entre as empresas a partir da digitalização das cadeias de suprimento das quais fazem parte. (PAN et al., 2021).

Além da pandemia, vários escândalos sobre contaminações alimentares ocorridos nos últimos anos, como o mal da vaca louca, gripe do frango e outros problemas, aumentaram o interesse e a necessidade de desenvolvimento de novas abordagens para garantia dos produtos alimentícios oferecidos aos consumidores ao redor do mundo, fortalecendo e aumentando a importância da rastreabilidade e da interoperabilidade de sistemas em uma cadeia de suprimentos composta de diferentes tecnologias abrindo uma importante oportunidade de desenvolvimento em diferentes trabalhos na cadeia de suprimentos. (GREEST et al., 2019)

Os riscos na cadeia de abastecimento farmacêutica existente surgem do fato de que uma empresa do ramo não tem visibilidade ponta a ponta do complexo conjunto de participantes da cadeia de suprimentos que geralmente envolve diferentes cadeias de abastecimento, distintas camadas de atacadistas, redes de distribuição e farmácias de varejo (BOTCHA et al., 2019).

Apesar das inúmeras maneiras que o Blockchain pode potencialmente melhorar a eficiência e sustentabilidade dos negócios, a tecnologia ainda está evoluindo e algumas barreiras estão sendo enfrentadas nas implementações em larga escala. Os principais fatores são a falta de padronização e interoperabilidade entre as tecnologias plataformas dentro do espaço da tecnologia Blockchain colocando em risco a entrega aos mercados dos valores inerentes à sua utilização (PERRONS; COSBY, 2020).

O monitoramento de um produto é a capacidade de acompanhamento da localização física do mesmo em uma cadeia de abastecimento a qualquer momento. A capacidade de poder consultar as informações históricas de movimentações anteriores, posicionamento, embalagens e processamentos no fluxo contrário ao do material é chamada de rastreabilidade (BOTCHA *et al.*, 2019).

A Interoperabilidade e a padronização de informações em uma cadeia de suprimentos permitem que os parceiros desenvolvam tecnologias que possam trabalhar em conjunto com velocidade na troca de informações aumentando os padrões de confiabilidade da cadeia de suprimentos e reduzindo os riscos de ruptura, favorecendo a rastreabilidade dos produtos e promovendo a segurança dos produtos movimentados na cadeia de suprimentos. (KAMBLE *et al.*, 2020).

A padronização da informação é a garantia em termos de processos e formato da informação de regularidade no conteúdo, apresentação e discernimento, possibilitando a leitura e tratativa da informação pelas tecnologias aplicadas a ela. Para habilitar o uso de tecnologia e conectividade é necessário que seja determinado o padrão de comunicação e troca de dados, processamento e comunicação entre as partes, considerando padronização. A padronização vai garantir a interoperabilidade, compatibilidade, confiabilidade e efetividade das operações em escalas globais (ADDO-TENKORANG *et al.*, 2019).

A padronização das tecnologias e sistemas utilizados nas indústrias e operações diversas com a chegada das novas abordagens e adoção de IoT é essencial para o compartilhamento das informações entre dispositivos e parceiros em uma cadeia de suprimentos. As redes digitais construídas entre empresas, fábricas e prestadores de serviços dependem de eficiência na troca de informações e alinhamento de processos que somente é possível a partir da padronização das informações (RAMIREZ-PEÑA *et al.*, 2020).

A comunicação entre esses parceiros é essencial para alcançar o sucesso da interação entre parceiros e para construção de eficiência sistêmica em uma cadeia de suprimentos é preciso construir interoperabilidade entre os participantes dessa cadeia. A construção torna-se tecnicamente possível e financeiramente viável a partir da padronização das informações trocadas entre os parceiros nos protocolos desenvolvidos no processo de integração e baseados na interoperabilidade desses sistemas. (RAMIREZ-PEÑA *et al.*, 2020).

O resultado da interoperabilidade construída por meio da padronização garante o máximo de benefícios para cada um dos envolvidos atendendo as premissas do modelo de negócio em questão e traz aos participantes da cadeia de suprimentos competitividade e sustentabilidade em um nível superior ao mercado (RAMIREZ-PEÑA *et al.*, 2020).

Para avançar no desenvolvimento da digitalização, diversas companhias devem buscar a construção de interoperabilidade digital que significa a capacidade de conseguir trocas de informações rápidas, seguras, livres de interferências e confiáveis. Essa habilidade é de vital importância para o bom desempenho da estrutura multi-organizacional e multifuncional da cadeia de suprimentos que exige de seus participantes um nível de colaboração alto em termos de estratégia, planejamento e gerenciamento operacional (PAN, 2021).

O termo rastreabilidade se refere à possibilidade ou capacidade de verificar o histórico de movimentação, manuseio, localização, registro de um item por meio de informações documentadas e identificadas (CATALDO *et al.*, 2016) fazendo com que em cada uma das etapas do processo de transformação ou movimentação as informações sejam processadas e registradas criando uma referência para o estágio determinado.

A rastreabilidade permite o acompanhamento do histórico de movimentação dos produtos em uma cadeia de suprimentos considerando funções chave como (i) identificação dos produtos e parceiros na transação. (ii) classificação e captura de informação, (iii) gravação e compartilhamento da informação. Conseqüentemente, a estrutura de rastreabilidade fornece acesso a *master data* transações e detalhes relevantes relacionados a cada um dos participantes da cadeia de suprimentos conforme necessário (GREST *et al.*, 2019).

A visibilidade do produto em uma cadeia de suprimentos pode ser definida pela capacidade da cadeia em ter uma visão do ciclo de vida do produto desde a concepção, manufatura, distribuição, entrega ao consumidor, experiência do consumidor com o produto e processos de finalização da vida do produto como por exemplo descarte. Isso implica no desenvolvimento e manutenção de coleta e gravação de dados sobre o produto e seus componentes, incluindo as transformações físicas ao longo da cadeia de suprimentos acompanhando o desenvolvimento do produto até a chegada ao consumidor final, experiência de uso, logística reversa, reuso ou terminação do produto (MUSA *et al.*, 2014).

A rastreabilidade de produtos de ponta a ponta em uma cadeia de suprimentos tem sido esquecida apesar de ser muito importante para itens de consumo diário no mundo e ainda não existem soluções confiáveis para produtos domésticos de uso diário em muitos mercados. Tais pontos são coletados, armazenados e associados a um único produto a partir de um código de identificação. O conceito de identificação de produtos é essencial e tem relação direta com a rastreabilidade, pois deve permitir que um simples produto seja identificado corretamente entre outros vários itens semelhantes (TAN; THI, 2020).

De acordo com Dabbene; Gay, (2011) o processo de rastreamento deve ser estruturado de maneira que as informações sejam mantidas após o processamento dos componentes em um processo de fabricação, compondo a informação dos produtos finais. Em caso de necessidade de investigação dos registros do deslocamento dos produtos ao longo da cadeia de suprimentos, o desmembramento da informação nos componentes do produto acabado deve ser possível e a estrutura vai definir o custo do processo de obtenção da informação.

O principal objetivo da rastreabilidade, em termos de transparência, é fomentar o planejamento, controle e aumento de agilidade nas respostas das operações associadas ao produto e melhorar a experiência do consumidor em relação ao produto. A rastreabilidade (*traceability*) nesse ponto substitui ou complementa o conceito de monitoramento (*tracking*) do produto ao longo da cadeia de suprimentos fornecendo um histórico de movimentação do produto do início ao final da cadeia de suprimentos de maneira organizada e clara (MUSA *et al.*, 2014).

A rastreabilidade é muito importante para empresas de manufatura porque garante a segurança para os consumidores a partir da garantia de origem do produto consumido, mas também permite a otimização logística e de gerenciamento de informações, mas também cumprindo a legislação e a regulamentação de alguns setores (CATALDO *et al.*, 2016).

Um sistema de rastreamento na cadeia de suprimentos pode ser definido como o processo de documentação das operações de movimentação do produto desde sua origem até o ponto de venda, com o objetivo de identificar os participantes envolvidos nos processos e acompanhar os fluxos relevantes de produtos dentro da cadeia. O sistema de rastreamento deve ser eficiente e efetivo coletando a informação necessária e habilitando o uso rápido e correto da informação. (BERTOLINI *et al.*, 2006).

A rastreabilidade auxilia na manutenção de fatores da cadeia de suprimentos e de características dos produtos que servem para atender os requisitos de qualidade relacionados às necessidades dos usuários e consumidores, características relacionadas à garantia de qualidade e procedência do produto e também questões relacionadas ao atendimento das expectativas e exigências do mercado (PAPETTI *et al.*, 2012).

A rastreabilidade na cadeia de suprimentos está relacionada a habilidade de acompanhar o desenvolvimento, composição, processamento e aplicação, localização e etapas posteriores de um produto ou lote de produção no fluxo inverso da cadeia de suprimentos, a partir do consumidor final a partir dos dados coletados e armazenados ao longo do processo. O monitoramento por sua vez, é de maneira complementar, o acompanhamento desses produtos durante o processo de transformação, buscando oferecer visibilidade e informações para otimização do fluxo e do planejamento da cadeia de suprimentos contribuindo para solução rápida de problemas que podem impactar no abastecimento do mercado (MUSA *et al.*, 2014).

O foco da rastreabilidade está concentrado na inovação para garantir o máximo do gerenciamento do fluxo de informações por meio de sistemas organizados de gravação e armazenamento de dados, bases de dados interconectadas e programas de interface entre os usuários de modo a disponibilizar a informação de ponta a ponta em uma cadeia de suprimentos. A evolução das aplicações de códigos de barra é representada pelo surgimento de dispositivos inovadores como leitores portáteis de RFID e sensores sem fio que podem ser aplicados em diversos produtos (PAPETTI *et al.*, 2012).

Utilizando-se do princípio da transparência na cadeia de suprimentos, a rastreabilidade da cadeia de suprimentos habilita o acesso a informações críticas de origem de matérias primas, processos de fabricação e produtos acabados. A rastreabilidade é vista como um sistema de garantia da qualidade e da segurança dos produtos movimentados em uma cadeia de suprimentos, e sofre constantemente com necessidade de aperfeiçoamento pelo rápido desenvolvimento de sistemas de fraudes em alguns mercados do mundo o que cria uma oportunidade de otimização e nivelamento das tecnologias de rastreamento em diferentes setores (TAN; THI, 2020).

A criação de visibilidade na cadeia de suprimentos a partir de plataformas tende a conflitar com problemas relacionados a falta de desempenho organizacional entre os sistemas de informação e objetivos estratégicos, táticos e operacionais, avaliação e

gerenciamento de riscos associados com implementação de sistemas de informação, falta de técnicas e processos para avaliação e seleção de sistemas (MUSA *et al.*, 2014).

As informações podem ser coletadas ainda no processo de fabricação do produto formando uma base de dados com informações diversas gravadas e amarradas a um número de série único que posteriormente será utilizado como referência para futuras investigações do produto ao longo da cadeia de suprimentos incluindo etapas produtivas e de transformação (PAPETTI *et al.*, 2012).

A essência de um sistema de rastreamento é a coleta de todos os tipos de informação relacionados ao movimento de materiais ao longo da cadeia de suprimentos feita de maneira rigorosa. A informação deve fornecer conteúdo essencial para garantir a rastreabilidade do produto ao longo da cadeia em caso de crise ou necessidade. (DABBENE; GAY, 2011).

A adoção de sistemas de rastreamento é uma alternativa para contornar os fatores de competitividade apresentados no cenário econômico atual com importância significativa nas manufaturas, transportadores, armazenadores, distribuidores e consumidores dos produtos na garantia de controle da qualidade, organização da cadeia de suprimentos, gerenciamento da armazenagem, previsão de demanda e mercado, e segurança do produto reforçando a comunicação entre os participantes da cadeia de suprimentos aumentando a transparência e o controle do processo. (KUMAR *et al.*, 2016).

Uma das principais características de um sistema de rastreabilidade é a capacidade técnica de acompanhar o histórico de um produto e monitorá-lo consistentemente, incluindo a localização física ao longo da cadeia de suprimentos, codificando e estabelecendo um relacionamento entre os componentes e matérias primas, etapas de processamento e transformação e rastreabilidade de lotes de produção, assistidos por tecnologia adequada para coleta de informações em cada uma das etapas relevantes do processo (QIAN *et al.*, 2012). A definição e escolha da tecnologia aplicada na coleta de dados pode depender de vários critérios, como por exemplo capacidades de leitura, custo e quantidade de informações armazenadas por produto.

A organização de uma estrutura de rastreabilidade através de um sistema de informações e tecnologia é composto de hardware e software, incluindo componentes de interface para captura de dados, um software intermediário chamado de middleware

responsável pelo pré-processamento das informações filtrando, modelando e transmitindo dados inteligíveis e por fim um sistema de informações que permite gerenciamento da informação e tomadas de decisão (MUSA *et al.*, 2014).

O primeiro objetivo de um sistema de rastreabilidade é registrar o histórico de deslocamento do objeto rastreado com precisão ao longo da cadeia de suprimentos a partir da obtenção de informação de dispositivos como por exemplo códigos de barra ou etiquetas de radiofrequência (RFID) que são desenvolvidos por empresas de tecnologia e garantem um custo baixo de gerenciamento do processo de rastreamento incluindo coleta de dados, processamento e disponibilização de informação (DABBENE; GAY, 2011).

A estrutura de rastreamento e monitoramento é desenvolvida partir de tecnologias de conexão sem fio para coleta e transmissão de dados em tempo real (ICT – *Information Communication and Technologies*) e o ponto de coleta, organização dos dados e disponibilização nas redes fica a cargo da aplicação de IoT - internet das coisas (DABBENE; GAY, 2011).

As cadeias de suprimento evoluem constantemente nos últimos anos com o surgimento de distintas tecnologias para suportar o gerenciamento das variações entre demanda e abastecimento, o aumento da segurança dos produtos movimentados, atendimento de normas diversas e requisitos de sustentabilidade da cadeia. A aplicação de internet das coisas (IoT), internet dos serviços (IoS) e computação em nuvem (CC) têm colaborando com a desempenho das cadeias e com os processos de tomada de decisão em diferentes segmentos de negócio (KAMBLE *et al.*, 2019).

Muitas abordagens já foram aplicadas para rastreabilidade da cadeia de suprimentos, desde simples registros em papéis até a sofisticada aplicação de tecnologias avançadas. Enquanto existem diversas tecnologias de ponta que podem e são aplicadas na cadeia de suprimentos em diversos segmentos, ainda existe o controle precário feito em documentos e papel nos países menos desenvolvidos (TAN; THI, 2020).

No estado da arte existem numerosas aplicações para o acompanhamento e monitoramento de produtos (tracking) como por exemplo a identificação por rádio frequência (RFID), antenas portáteis e outros equipamentos. A aplicação de rastreabilidade na cadeia de suprimentos colabora para a redução de perdas econômicas e financeiras causadas por falsificação e pirataria, redução de danos nos processos

produtivos com aplicações diferenciadas nos estágios iniciais e finais da cadeia de suprimentos de acordo com os riscos incorridos em cada etapa (CATALDO *et al.*, 2016).

A rastreabilidade funciona a partir da coleta de dados de identificadores únicos associados a cada unidade rastreável possibilitando a identificação de um produto único ou de um lote (BASKER, 2012) e são favorecidos pela utilização de códigos universais de produtos (UPC – Universal Product Code), códigos de barra bidimensionais e etiquetas de identificação por radiofrequência (RFID). Esses identificadores comuns únicos utilizados em processos de serialização formam sistemas que dependem da confiabilidade da empresa na garantia da autenticidade no gerenciamento da informação, manutenção e entrega de um produto autêntico ao comprador. (HECHAVARRÍA; LÓPEZ., 2013)

Muitas das aplicações para rastreabilidade de produtos que são utilizadas pelas empresas não foram criadas especificamente para este fim, mas resultam de uma adaptação e integração dos sistemas de informação já existentes, como por exemplo ERPs. Tal aplicação colabora para evitar gastos adicionais e altos investimentos na construção de uma solução (BORRERO, 2019). A maioria das automações utilizadas para obtenção de informações de rastreamento são códigos de barra e etiquetas RFID organizados em sistemas integrados de troca de informação baseados em aplicações ICT – Tecnologia de Informação e Comunicação (TAN; THI, 2020).

Essa abordagem consiste em uma rede de comunicação desenvolvida entre diversos aparelhos, sensores e coletores de dados que habilitam o ambiente com informações e dados para transmissão e compartilhamento através de plataformas, com o objetivo de desenvolver uma operação em comum. Essa operação comum entre diferentes integrantes da cadeia de suprimentos será a chave para a nova geração de empresas conectadas, e vai garantir também a efetiva operação de redes de monitoramento e rastreamento fazendo com que a correta aplicação de IoT seja um fator de sucesso (ADDO-TENKORANG *et al.*, 2019).

As tecnologias aplicadas para obtenção das informações, sensores e sistemas utilizados podem interferir de maneira direta sobre a qualidade e a transparência do sistema de rastreabilidade, assim como os locais de coleta, qualidade dos sinais, armazenamento da informação e linguagens utilizadas (MUSA *et al.*, 2014).

A visibilidade da cadeia de suprimentos de ponta a ponta para fins de rastreabilidade foi explorada e melhorada nos últimos anos com o surgimento de processos de controle e otimização em diversos setores industriais, desde a manufatura, transportes e distribuição, varejo, aviação e saúde, incluindo setores farmacêuticos e serviços. O desenvolvimento acelerado de tecnologias após o surgimento do RFID, das comunicações e estruturas de troca de dados combinadamente com tecnologias de localização e coletas de informações eletrônicas contribuíram de diversas maneiras para criação de diferentes níveis de visibilidade da cadeia de suprimentos (MUSA *et al.*, 2014).

O aumento da colaboração entre os participantes de uma cadeia de suprimentos facilita o fluxo de mercadorias e o gerenciamento da informação em toda a cadeia logística, incluindo operadores logísticos integradores (4PL) por meio do acompanhamento, monitoramento e compartilhamento da informação com controle de acesso à informação para gerenciamento de informações entre todos os participantes (GNIMPIEBA *et al.*, 2015).

A aplicação de sensores e RFID nas cadeias de suprimento podem ser realizadas em cadeias de suprimentos fechadas com adoção de hardware e software específicos. Os protótipos apresentados na literatura recente mostram um aumento de visibilidade na cadeia de suprimentos que não necessariamente satisfaz todos os requerimentos do mercado por serem realizados em um domínio específico de operação. As similaridades e diferenças entre as cadeias de suprimento de um setor específico configurações de redes, hardwares, softwares e desenho da cadeia de suprimentos pode trazer alguns gaps de compatibilidade entre diferentes participantes da cadeia de suprimentos (MUSA *et al.*, 2014).

As plataformas existentes antes da computação em nuvem falharam no fator principal: a interoperabilidade – que é a capacidade de conectar os diferentes sistemas e garantir um fluxo de informação confiável e constante entre os aparelhos e pontos de coleta de informação dos produtos fazendo com que a informação esteja disponível em tempo real podendo ser gerenciada e atualizada remotamente, garantindo a conexão e interação entre os participantes da cadeia de suprimentos (GNIMPIEBA *et al.*, 2015).

O domínio das características das aplicações de software desenvolvidas nas empresas deve levar em conta as similaridades e diferenças entre as redes que estão conectadas, configurações e design de hardwares e softwares em função da criação de

uma transparência real em uma cadeia de suprimentos favorecendo o fluxo de informações e garantindo que as informações trocadas entre os parceiros possam colaborar de maneira sustentável e segura o gerenciamento do ciclo de vida do produto em distintas cadeias de suprimento levando em consideração as diferentes necessidades dos usuários (MUSA *et al.*, 2014).

De acordo com Gnimpieba *et al.*, (2015), diversos autores apresentaram modelos de plataformas colaborativas do tipo *web-based* que são portais baseados em sites na internet que oferecem uma comunicação organizada entre os participantes cadastrados na base de dados. Com algumas exceções, a colaboração é feita simplesmente pela troca de informações entre os participantes desse portal e em termos de integração podem ser divididos em três tipos: troca de informação ponto a ponto; troca de informação via web; e integração baseada em middleware.

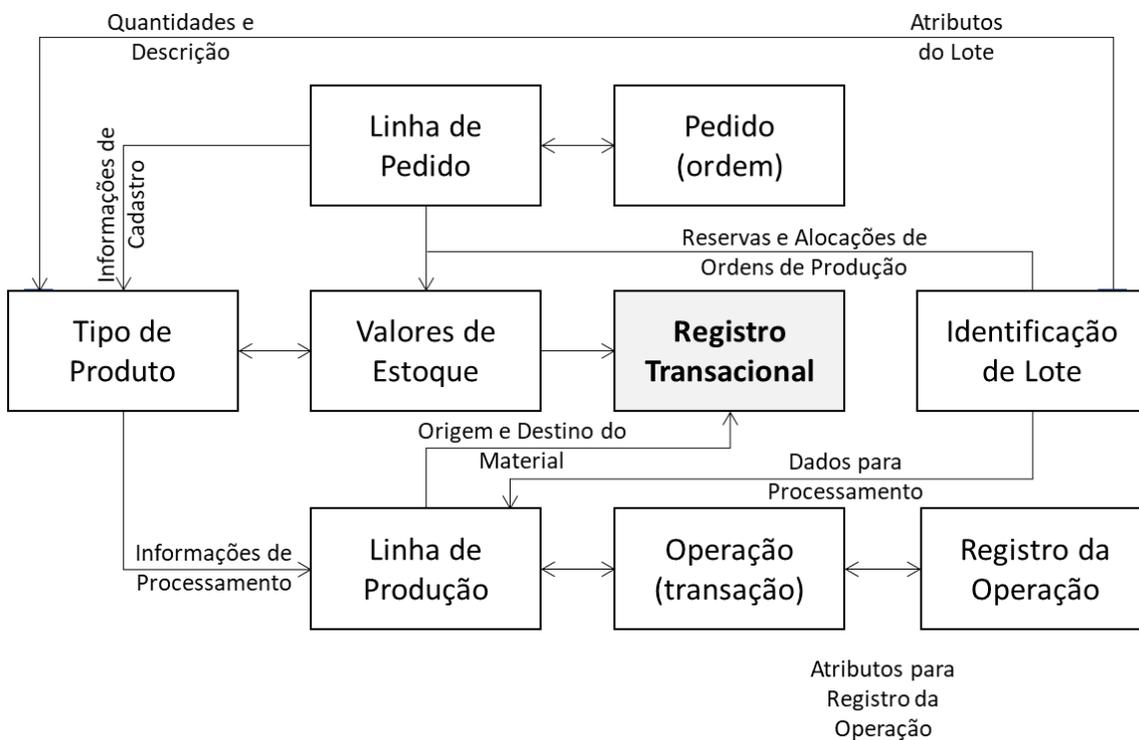
A principal limitação dessas plataformas de integração é que, elas não possuem redes integradas a sensores para aquisição de dados e informações para alimentação dos portais e também não existe informação de notificações e processamento em tempo real de eventos ao longo da cadeia. Adicionalmente, somadas a estas limitações, existe a complexidade de integração de cada um dos sistemas, protocolos de comunicação e formatos específicos de informação para funcionamento entre as plataformas que são integradas aos aparelhos e pontos de coletas de dados, como por exemplo, bases Windows, Android, IOS e outros (GNIMPIEBA *et al.*, 2015).

O aumento da viabilidade de comunicações do tipo *peer-to-peer* (P2P) como as usadas frequentemente e há muito tempo nas trocas eletrônicas de dados (EDI), reduzem as necessidades de trocas de informações a partir de uma estrutura centralizada, fazendo com que os chamados pares eletrônicos fossem mais atrativos para algumas configurações de negócio, porém, com o surgimento de tecnologias como RFID, serviços Web de alta velocidade, *eXtensible Markup Language* (XML) e outros, permitiram a habilitação de novos ambientes de trabalho e novos modelos de negócios a partir de configurações de integração de empresas e processos (MUSA *et al.*, 2014).

Existem dois modelos conceituais de gerenciamento de informações de rastreamento em um processo produtivo. O primeiro modelo é centrado na rastreabilidade de processos de produção em massa utilizados por empresas que desenham uma estratégia operacional centrada em registro transacional dos lotes de produção e grandes volumes, e

apesar das deficiências e restrições apresentadas por essa estratégia, muitas empresas utilizam o modelo como base de desenvolvimento de seus sistemas de informação atuais e recursos disponíveis (MUSA *et al.*, 2014). A Figura 5 ilustra o fluxo de relações entre o sistema de informação para o registro das transações.

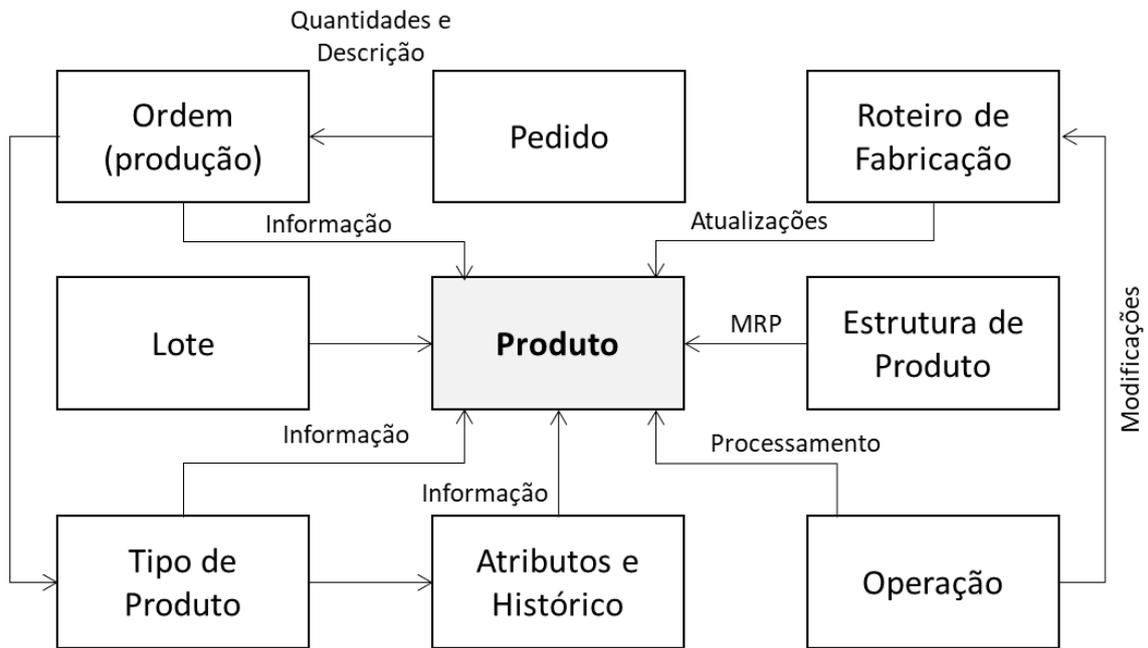
Figura 5 - Modelo de funcionamento com base em informações de registro contábil da operação



Adaptado de (MUSA *et al.*, 2014)

O segundo modelo é baseado nas estratégias operacionais ágeis, que se utilizam de ferramentas como *just-in-time* e conteúdo dos sistemas enxutos de produção (*Lean*) e utilizam a mentalidade dessa abordagem para o desenvolvimento dos seus sistemas de produção. Esses sistemas se baseiam na obtenção e gerenciamento de informações centradas em produtos e permitem, diferentemente da estratégia anterior, que o controle e a rastreabilidade sejam executados a nível de produto (SKU) (MUSA *et al.*, 2014). A Figura 6 ilustra o fluxo de informação centrado no produto para registro da rastreabilidade.

Figura 6 - Modelo Adaptado de produto individual para rastreabilidade.



Adaptado de (MUSA et al., 2014)

O modelo de rastreamento de produção em massa dimensionado para gerenciamento de lotes pode sofrer interferências e causar imprecisão na informação e no processo de rastreabilidade a partir de três fatores:

- (1) integridade física do lote;
- (2) coleta de dados;
- (3) conexão entre lote e processo.

O aumento da complexidade dos sistemas de manufatura, customização e globalização impacta diretamente a integridade dos lotes por forçar a produção de quantidades cada vez menores para atendimento da variedade exigida pelos mercados, forçando a divisão de lotes de produção em algumas etapas do processo de transformação. A rastreabilidade de um produto nessas condições em uma empresa de manufatura pode ser uma atividade demasiadamente complexa e trabalhosa (MUSA et al., 2014).

Adicionalmente, outro ponto relevante no processo de rastreabilidade de produtos em cadeias de suprimento baseadas em estratégias de produção em lote é a perda de

visibilidade de ponta a ponta no processo de transformação devido ao fato que as informações com base em lote podem se perder ao longo do processo durante as transferências dos produtos entre os parceiros da cadeia de suprimentos. Essa perda é causada pela quantidade de níveis de quebra do produto e combinação com outros componentes ao longo da cadeia de transformação resultando, por exemplo no descarte de um lote completo de produtos quando uma parte do lote processada apresentou problemas ou não atendeu especificações de qualidade (MUSA *et al.*, 2014).

As cadeias de suprimentos que possuem sua estrutura de informações centrada no produto, possuem as estruturas necessárias para monitoramento e acompanhamento do produto ao longo dos processos de transformação de maneira individual. A rastreabilidade é, portanto, nesse tipo de modelo, de menor complexidade e melhor estruturada, permitindo a criação de uma arquitetura funcional e simples de monitoramento e rastreabilidade, que pode inclusive referenciar informações sobre lotes de produção nos registros (MUSA *et al.*, 2014).

A apresentação desses dois modelos mostra a importância da definição dos meios de gerenciamento da coleta de informações em um sistema de rastreabilidade, das decisões sobre a apresentação da informação em um sistema orientado ao produto e definição da granularidade da informação – a nível de item ou a nível agregado. O custo de obtenção de dados a nível granular é maior do que a mesma obtenção em níveis agregados, porém, a decisão deve ser feita principalmente com base nos objetivos da cadeia de suprimentos relacionados com a criação de visibilidade de ponta a ponta dos produtos (MUSA *et al.*, 2014).

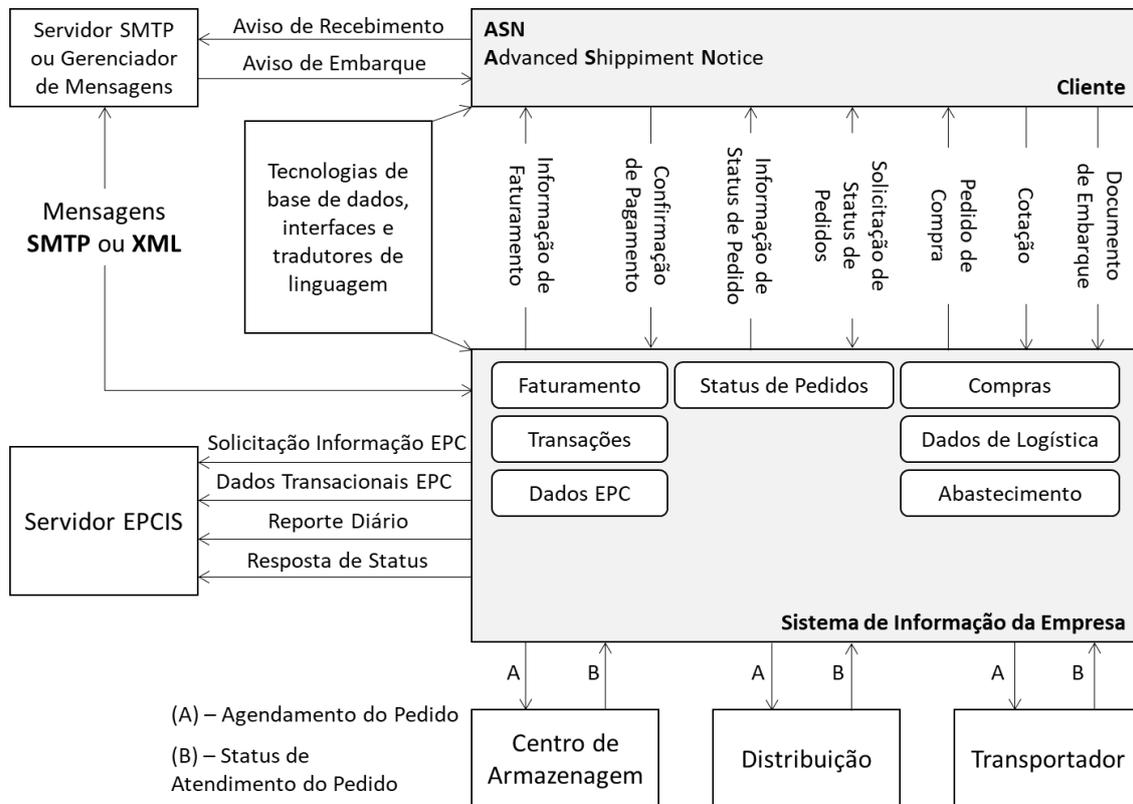
Um sistema de rastreabilidade em uma cadeia de suprimentos necessita atender a certos critérios na concepção de sua arquitetura, para cobrir todas as necessidades relativas à visibilidade da cadeia, sendo muitos deles critérios técnicos como por exemplo largura de banda de operação dos sensores e leitores diversos de informação (incluindo antenas e receptores) tipo de tecnologia e capacidade de retenção e transmissão de informações, serviços de transmissão, compatibilidade com EPC global, propriedade das plataformas, possibilidade de desenvolvimento de data-mining e inteligência artificial, através de algoritmos, interoperabilidade entre os sistemas e disponibilidade da informação e custo de gerenciamento do sistema (MUSA *et al.*, 2014).

Uma análise completa do modelo de operação em um sistema de rastreabilidade em uma cadeia de suprimentos global exige que se avalie os critérios necessários e fatores críticos de sucesso para cada um dos participantes para identificação da complexidade, e dos atributos e restrições que precisam ser consideradas em sua fase de concepção. Essa avaliação apresenta quais são os critérios e requisitos mais importantes na definição dos atributos desse sistema da perspectiva dos usuários e tecnologia. Nessa avaliação é importante diferenciar os critérios essenciais dos desejáveis para garantir que a rede funcione com bom desempenho, mas tenha um custo de investimento e gerenciamento financeiramente viável, promovendo visibilidade da cadeia de suprimentos (MUSA *et al.*, 2014).

Existem diferentes modelos comerciais abertos e privados de arquitetura para gerenciamento de rastreabilidade de cadeias de suprimentos focando na visibilidade do produto ao longo do processo em organizações distintas que em sua maioria utilizam-se de aparelhos e estruturas contratadas e não são criadoras ou detentoras da tecnologia empregada (MUSA *et al.*, 2014).

O modelo utilizado para o gerenciamento da rastreabilidade em uma cadeia de suprimentos centrada em visibilidade deve oferecer robustez na transferência da informação entre os participantes da cadeia e atender às principais características de configuração e requisitos dos participantes, garantindo a fluidez e disponibilidade dos dados de maneira extensiva. Em muitas conexões, as empresas não se utilizam de arquitetura complexa, mas da combinação de middlewares que se conectam aos diferentes pontos da cadeia, conforme Figura 7 (MUSA *et al.*, 2014).

Figura 7 - Fluxo de informações em uma cadeia de suprimentos centrada em visibilidade.



Adaptado de (MUSA et al., 2014).

Do ponto de vista prático, muitas soluções são baseadas em uma plataforma digital usada como uma ferramenta de tomada de decisão para atender às demandas de diferentes empresas. A necessidade de garantia da interoperabilidade surge a partir do crescimento das redes de negócios e cadeias de que exigem dos fornecedores e parceiros da cadeia de suprimentos o compartilhamento de dados relativos à operação, como capacidade disponível, prazos e *forecast* de demanda de maneira colaborativa, muitas vezes em grande volume de informação em uma estrutura automatizada (PAN et al., 2021).

2.3. Tecnologias da Cadeia de Suprimentos

A avaliação de uma cadeia de suprimentos é de alta prioridade em diversos tipos de empresas ao redor do mundo e uma das tarefas mais difíceis dos gestores devido à complexidade dos sistemas globais de abastecimento. A utilização de indicadores de desempenho apropriados e comparáveis em diferentes estágios da cadeia de suprimentos,

metodologia adequada e abordagens estruturadas fazem com que o modelo SCOR (*Supply Chain Operations Reference*) proposto pelo *Supply Chain Council* seja uma alternativa apropriada para empresas de operações locais e globais na avaliação de desempenho de sua cadeia de suprimentos, pois permite a identificação do nível adequado de indicadores para avaliação de desempenho de acordo com o nível estratégico (LEMGHARI *et al.*, 2018).

A adoção de IoT – Internet das Coisas a partir de dispositivos de conexão de dados permite a implantação de soluções diversas e avançadas para aumento da transparência e qualidade de comunicação de uma cadeia de suprimentos, impactando diretamente na interoperabilidade da rede e no grau de integração entre os parceiros. Diversas tecnologias como RFIDs, sensores, códigos de barra, balanças, *data-loggers*, rastreadores GPS e outros ajudam a automatizar a coleta de dados, processar e validar a informação para alimentação da rede Blockchain. (BOCHA, 2021).

De acordo com Addo-Tenkorang *et al.*, (2019) as tecnologias de IoT estão se desenvolvendo rapidamente e já são reconhecidas como fatores importantes na indústria para aumentar a entrega de valor para os consumidores em diferentes áreas e transformando os negócios industriais em negócios completamente integrados e inteligentes no futuro.

A IoT é uma evolução da tecnologia computacional e comunicação que permite conectar objetos pela internet. Objetos podem ser entendidos com qualquer coisa ao nosso redor que se comunique ou não. O fluxo de informações e eventos gerados pela interconexão desses objetos pode ser utilizado por exemplo para facilitar seu rastreamento, gerenciamento, controle e coordenação. Na logística a utilização de objetos rastreáveis permite uma integração maior da cadeia embora a interoperabilidade entre tecnologias heterogêneas ainda seja um desafio (GNIMPIEBA *et al.*, 2015).

Cada um dos dados coletados por um desses aparelhos pode ser ingressado no Blockchain em sequência cronológica imediatamente quando da execução da operação e transmitido para a nuvem, onde se mantém disponível a todos os usuários até sua atualização com a inserção de um novo bloco. O sequenciamento dos blocos facilita os processos de auditoria e investigações diversas, colaborando inclusive para o gerenciamento do ciclo de vida do produto. (BOCHA 2021).

2.3.1. Arquiteturas Utilizadas em Sistemas de Rastreabilidade

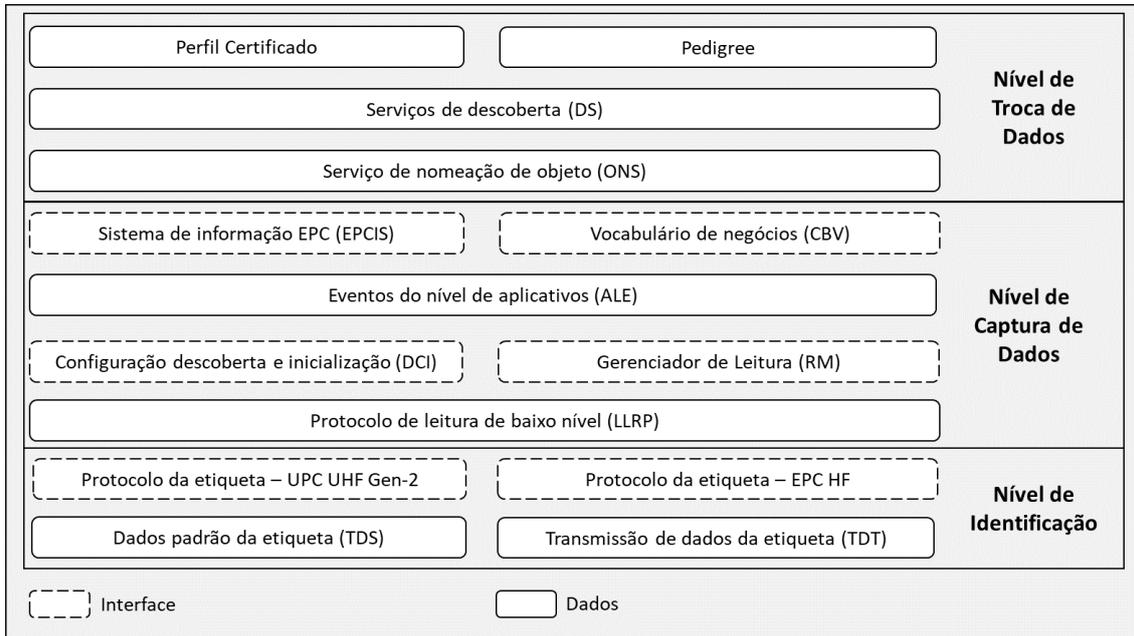
A rede EPC foi desenvolvida pela EPC global Inc. e é formada a partir de uma joint venture entre a GS1 (conhecida pela regulamentadora do código EAN internacional) e a GS1-US (conhecida como *Uniform Code Council Inc.*), formando uma empresa aberta, internacional e sem fins lucrativos por meio de um consórcio de empresas e parceiros de *Supply Chain* com o objetivo de fomentar a adoção da rede EPC ao redor do mundo. Essa entidade nivela estruturas de RFID e internet para coleta de dados e comunicação com a rede em tempo real e cria visibilidade individual de produtos conforme seu trânsito pela cadeia de suprimentos, criando transparência e linearidade na informação sobre a localização e produtos compartilhados com agentes autorizados pela cadeia (MUSA *et al.*, 2014).

A arquitetura EPC conecta de maneira segura servidores que contêm informação relacionada aos produtos que são identificados pelo número eletrônico de produto (EPC). Os servidores são chamados de Sistemas de Informação de EPC (EPCIS) e são interligados por meio de redes de dados. Cada um dos participantes conectados a rede, possui informações relevantes ao seu produto específico, e possuem um número de identificação dentro da rede. Em algumas situações, parte das informações processadas podem ser fornecidas a partir da rede local ou complementadas por informações recebidas de outros participantes da rede (MUSA *et al.*, 2014).

Em uma aplicação típica rede EPC oferece de maneira global a infraestrutura e capacidade para identificar, localizar e gerenciar produtos em múltiplas cadeias de suprimentos a partir de aplicação de RFID, ilustrada na Figura 8. Um pallet de mercadorias, por exemplo, a partir de etiquetas RFID pode fornecer ao longo do processo por meio das antenas leitoras localizadas em uma operação, informações importantes de status e movimentação que são transmitidas à rede de maneira segura de um fornecedor a um receptor (MUSA *et al.*, 2014).

Outra arquitetura para rastreabilidade de produtos é o Sistema SaviTrak criado e operado pela empresa Savi Networks e possui uma infraestrutura conectada que fornece e compartilha informações sobre localização de produtos através de diversas cadeias de suprimentos. As informações são baseadas na identificação dos produtos e localização coletadas ao longo da cadeia de suprimentos e por meio de internet são compartilhadas com os participantes da cadeia de suprimentos (MUSA *et al.*, 2014).

Figura 8 - Arquitetura EPC – Electronic Product Code



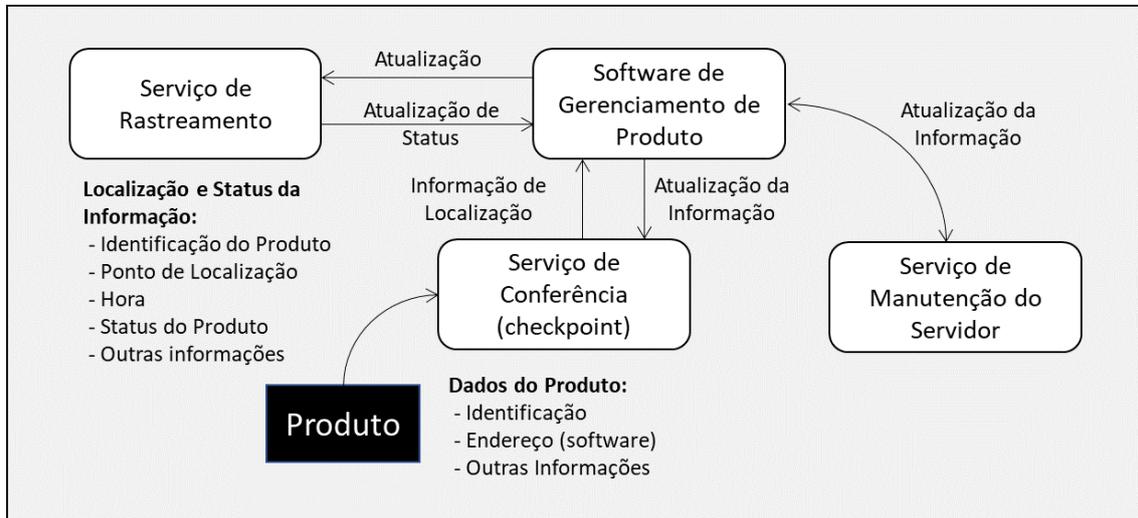
Adaptado de (MUSA et al., 2014).

A arquitetura SaviTrak, ilustrada na Figura 9, combina informações de GPS, RFID e sensores diversos espalhados entre os principais terminais portuários do mundo, somando mais de 4.000 pontos de verificação em cerca de 50 países especialmente criados para coleta das informações dos produtos movimentados possibilitando a verificação e registro das condições dos produtos transportados e identificação de anomalias, criando diversos alertas como perda de temperatura da carga, luz, choque, falsificação, arrombamento de containers, movimentação incorreta, falsificação e até desvios de rota entre outros problemas que podem ser imediatamente tratados conforme parametrização do monitoramento (MUSA *et al.*, 2014).

A movimentação dos produtos do embarcador até o receptor pode ser completamente monitorada nos veículos transportadores e a transmissão de dados pode ser feita em condições muito próximas a tempo real para todos os envolvidos na operação de transporte pois a maioria dos veículos de transporte de cargas é monitorado por GPS ou sinal de celular e dados além da localização podem ser adicionados na comunicação. Em transportes marítimos e internacionais, é possível ainda a partir de conexões, contratos e acordos da SaviTrek conseguir fazer a leitura dos materiais transportados nos conjuntos

de antenas RFID nos portos e disponibilização imediata dos dados nas redes EPC (MUSA *et al.*, 2014).

Figura 9 - Arquitetura do SaviTrak.



Adaptado de (MUSA *et al.*, 2014).

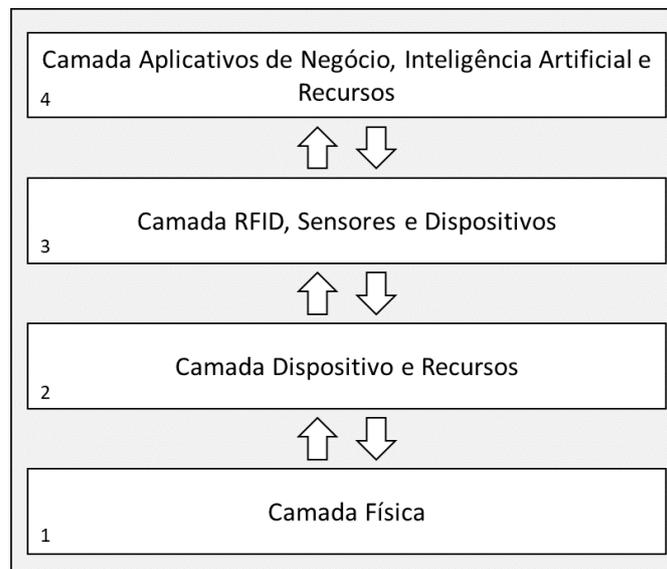
A arquitetura possui dispositivos de leitura de etiquetas muito robustos e contratos de transmissão de dados via celular em roaming em mais de 150 países para garantir visibilidade global e disponibilidade de informação a partir da conectividade e transmissão de dados aos clientes. Dispositivos multifuncionais sem fio permitem o acesso às redes assistidos por localizadores GPS, sensores embutidos nas etiquetas detectam e registram violações de segurança nas portas do container, medem temperatura, umidade e luz e com única via celular ou satélite conforme a disponibilidade do serviço (MUSA *et al.*, 2014).

O Microsoft BizTalk, ilustrado na Figura 10, é uma arquitetura baseada no modelo Enterprise Service Bus (ESB) que funciona como um middleware, a partir do reconhecimento de padrões fornecendo uma abstração entre as camadas de dados na implementação de sistemas diferentes e possibilitando a troca de dados entre eles. Ele permite aos usuários construir e implantar sistemas com RFID a partir do desacoplamento e desenvolvimento das rotinas de software, com uma arquitetura ágil e flexível seja construída com componentes do tipo plug-in para conexão dos dispositivos e componentes via APIs e outras ferramentas que suportam a escalabilidade da plataforma,

garantindo a interação de usuários de ponta a ponta na cadeia de suprimentos (MUSA *et al.*, 2014).

A Aplicação do Microsoft BizTalk Mobile é uma extensão da arquitetura e permite que se crie e expanda a conexão para dispositivos móveis que efetuam leitura de RFID, código de barras e Wi-Fi em distintos aparelhos.

Figura 10 - Esquema lógico da arquitetura do Microsoft BizTalk.



Adaptado de (MUSA *et al.*, 2014).

A lógica de operação da arquitetura Microsoft BizTalk permite a construção de interfaces e APIs que proporcionam uma aplicação generalizada de sensores e leitores de RFID, sem a necessidade de programação pesada por parte dos implantadores. Essa facilidade permite que de maneira harmoniosa, os sistemas de RFID tenham uma interação de boa qualidade com ambiente Windows otimizando os esforços na adaptação e configuração de outros softwares. A Microsoft disponibiliza plataforma, especificações e pacotes de teste para desenvolvimento de softwares de leitura de RFID nesse ambiente (MUSA *et al.*, 2014).

As camadas da arquitetura formam um mecanismo que permite um tempo de execução de rotinas curto para que os dados brutos coletados da camada física sejam organizados, agrupados, filtrados e processados fornecendo informações inteligentes aos

gestores do negócio na camada do topo. O mecanismo atua de maneira independente dos tipos de sensores e protocolo de comunicação da camada de dispositivos e recursos, conforme Quadro 6 (MUSA *et al.*, 2014).

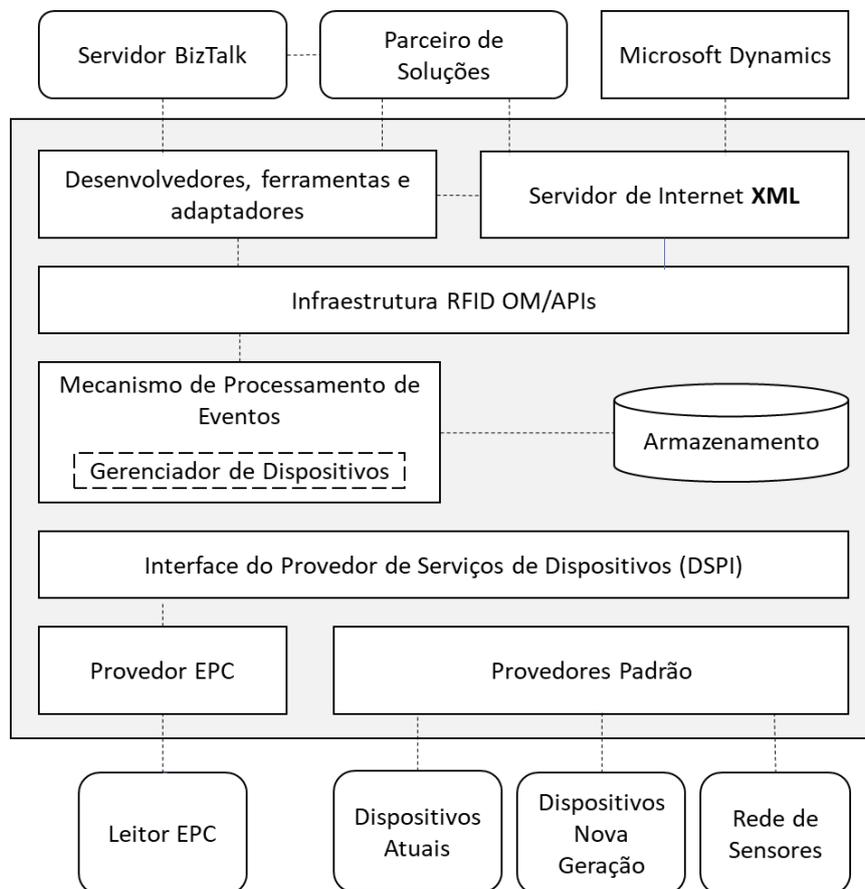
Quadro 6 - Detalhamento da estrutura lógica do Microsoft BizTalk. Adaptado de (MUSA et al., 2014).

Camada	Atividade	Descrição
4 - Camada Aplicativos de Negócio, Inteligência Artificial e Recursos	a. Aplicativos de Negócio	- Conectar aplicativos de múltiplas linhas de negócio - Aplicação de lógica de negócios no limite do <i>back-office</i>
	b. Inteligência de Negócio	- Monitoramento das atividades do negócio (BAM) para trabalho de inteligência de negócio (BI) - Análise de dados em SQL/SQL-BI
	c. Recursos	- Servidor Microsoft BizTalk - Microsoft Dynamics - Servidor SQL
3 - Camada RFID, Sensores e Dispositivos	a. RFID, sensores e equipamentos	- Gerenciamento dos dispositivos até o limite - Construção de contexto para adicionar eventos de negócio em informações para BI - Utilização de regras, filtros, e alertas para interpretar eventos de negócios no limite
	b. Recursos	- Servidor Microsoft BizTalk - Limites distribuídos entre as localidades que utilizam o BizTalk RFID
2 - Camada Dispositivo e Recursos	a. Camada de Dispositivo	- Leitores fixos e móveis de RFID - Scanners de código de barras - Controladores lógicos programáveis - Sistemas biométricos - Sistemas de leitura de ambiente - Sensores diversos
	b. Recursos	- Microsoft BizTalk RFID Mobile
1 – Camada Física	a. Camada Física	- Manufatura - Controle de Qualidade - Gestão de Estoques - Armazenagem - Distribuição - Expedição e Faturamento - Outros

A parte central de processamento da arquitetura é composta pelo mecanismo de comando que realiza o processamento de eventos a partir de um processo de execução de

pipeline em que todas as informações são acumuladas e organizadas de maneira a fornecer uma execução sequencial dos eventos em alta velocidade. As informações recebidas do RFID são organizadas e agrupadas a partir de associações lógicas para processamento permitindo que perfis simples e complexos de informação possam ser tratados, conforme ilustrado na Figura 11 (MUSA *et al.*, 2014).

Figura 11 - Estrutura e funcionamento do Microsoft BizTalk.



Adaptado de (MUSA *et al.*, 2014).

O Sun Java System RFID é uma arquitetura de software construída em programação Java pela empresa Java Enterprise System que proporciona uma série de serviços de conexão e compatibilidade com diversos sistemas operacionais. Essa arquitetura é comercializada com o objetivo de habilitar e operacionalizar uma rede EPC. A arquitetura Sun Java System RFID possui entrada de informação a partir de leitores RFID e sensores que alimentam o próximo nível de informação para processamento. A

arquitetura possui duas partes principais: o software Java Sun Systems RFID que é responsável pelo recebimento e processamento dos dados brutos recebidos da operação e o módulo de integração de aplicações empresariais que é responsável pelo monitoramento das informações e aplicação das regras de negócio para emissão de alertas e informações inteligentes para tomada de decisão (MUSA *et al.*, 2014).

Toda a informação nessa arquitetura é trabalhada nos padrões EPC e a arquitetura oferece recursos adicionais e diversos aplicativos para uma aplicação em larga escala. Ela permite que aplicativos externos acessem os eventos produzidos pelo gerenciador de eventos. A camada de integração permite que diferentes sistemas de informação corporativos como ERPs, sistemas de gerenciamento de armazéns como WMS, Sistemas de gerenciamento da cadeia de suprimentos SCM e outros aplicativos diversos sejam conectados e possam operar com informações em tempo real, resultado da coleta de dados e processamento em alta velocidade (MUSA *et al.*, 2014).

Os dados do gerenciador de eventos são alimentados no servidor, tratados e distribuídos a todos os dispositivos que necessitem da informação. A arquitetura oferece suporte para diversos serviços, entre eles, Web, WSDL, UDDI e SOAP permitindo que diferentes fabricantes e diferentes marcas de dispositivos se conectem e interajam com os sensores e gerenciador de eventos RFID (MUSA *et al.*, 2014).

2.3.2. RFID – Identificação por Radio Frecuencia

O RFID é uma tecnologia que permite a transmissão de informações e identificação de produtos por meio de rádio frequência e é composto de um conjunto de etiquetas e transmissores para leitura das informações. Esse sistema pode trabalhar de maneira ativa, com o chip energizado e transmitindo informação sem necessidade de solicitação por uma antena, semiativa que possui bateria interna, mas somente é auto energizada quando solicitada pela antena ou de maneira passiva, respondendo a um estímulo de frequência recebido de uma antena leitora de rádio frequência. As etiquetas de RFID possuem faixa de leitura que variam de poucos centímetros a mais de duzentos metros de distância em certas combinações. (GNIMPIEBA *et al.*, 2015).

O RFID por exemplo é uma tecnologia automática de leitura de dados que permite que as máquinas, computadores e sensores consigam identificar objetos, ler e gravar meta-

data e controlar alvos individuais a partir de ondas de rádio. Os equipamentos podem identificar, ler, rastrear e monitorar objetos com a tecnologia embutida ou a partir da adição da etiqueta quando dentro de um raio de alcance da antena conforme indicação do fabricante. O RFID é visto como uma tecnologia eficiente na aquisição de dados para alimentação das redes de informações e rastreamento, incluindo a possibilidade de combinação com outras tecnologias do tipo GPRS e GSM (ADDO-TENKORANG et al., 2019).

A tecnologia RFID foi considerada a sucessoras das tecnologias de escaneamento unidimensional de códigos de barras e traz diversos benefícios a utilização, como por exemplo a inexistência da necessidade de alinhamento de um feixe de leitura para obtenção da informação que é de tamanho limitado. Várias etiquetas podem ser lidas simultaneamente e pode ser aplicado em ambiente agressivo e sujo sem danos ao processo de leitura. (EIJK, 2013).

Quando a tecnologia foi criada, era um forte possível substituto do código de barras pelas vantagens inerentes à tecnologia, porém, devido a simplicidade e baixo custo dos códigos de barra, sua substituição por etiquetas RFID tardou a ocorrer e ainda é muito limitada a alguns tipos de aplicação (MUSA *et al.*, 2014).

O RFID é uma solução automática de identificação que provê informações e permite aquisições de informações trabalhando de maneira semelhante a um código de barras. O sistema RFID é composto de uma etiqueta RFID e um leitor RFID. A etiqueta pode ser feita em papel ou plástico e é composta de um microchip e uma antena. Os usuários tem acesso à informação contida na etiqueta que está associada a um número único de referência que pode ser lido através dos dispositivos corretos que emitem sinais de rádio contra a etiqueta e recebe a informação apresentando-a no visor do leitor (YAN *et al.*, 2018).

A identificação por radiofrequência oferece uma alternativa em meios de identificação de produtos. O principal elemento de um sistema RFID é o interrogador (ou leitor), o transponder (etiqueta) e o *middleware* que coleta e filtra as informações do leitor e transmite a informação para o sistema da empresa em um formato legível. O leitor e a etiqueta não necessitam de uma linha direta para alimentação e as etiquetas mais baratas sequer possuem uma bateria como fonte interna de energia, chamadas de etiquetas passivas. Outros modelos mais completos de etiquetas RFID possuem a função de escrita

e leitura, possuem memória interna de armazenagem de dados e possuem alimentação interna (MUSA *et al.*, 2014).

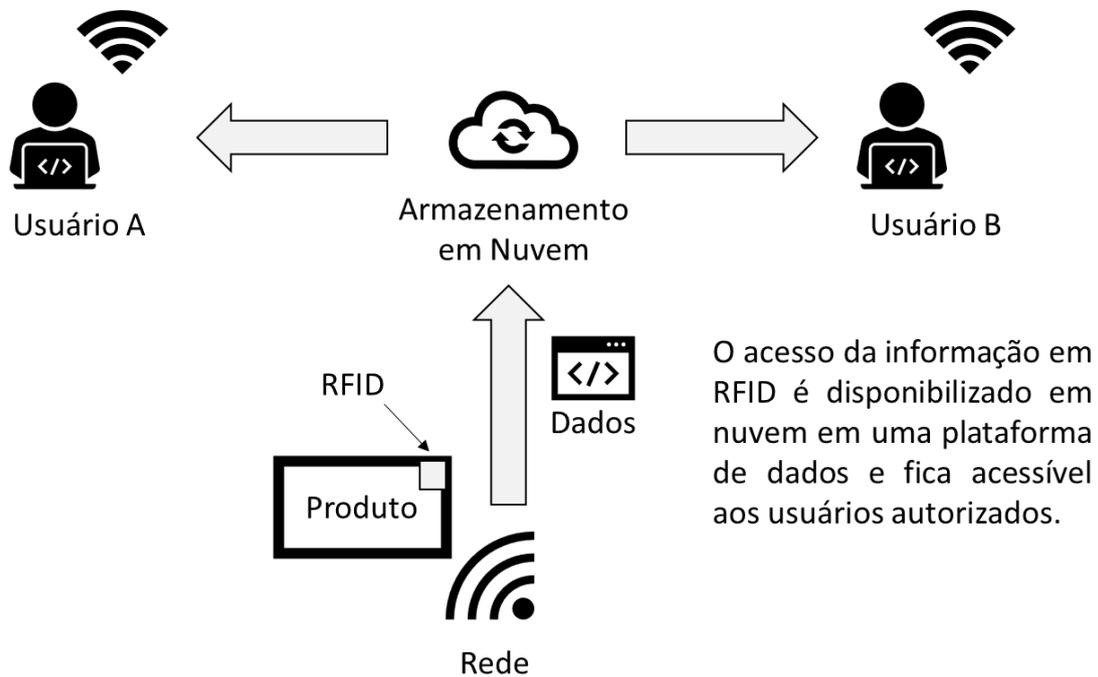
As etiquetas RFID são classificadas em ativas e passivas. As etiquetas ativas possuem bateria e são fisicamente maiores provendo informações automaticamente sem a necessidade de acionamento por uma antena leitora. Adicionalmente essas etiquetas podem acumular ou adicionar novas informações em sua memória interna. As etiquetas passivas fornecem as informações uma vez gravadas ao leitor quando acionadas, não podendo ter seu conteúdo alterado (YAN *et al.*, 2018).

As antenas de RFID podem enviar e receber informações, acionando as etiquetas a partir da emissão de um sinal inicial. Esse sinal fornece a energia necessária para a etiqueta responder e emitir um sinal de volta para a antena com o conteúdo gravado. A antena recebe essa informação e transmite para um sistema de computador. A etiqueta não exige o alinhamento do leitor com a etiqueta para leitura da informação nela contida, sendo suficiente que esteja no raio de alcance e na frequência adequada de leitura para receber a informação que pode ser lida através dos materiais (YAN *et al.*, 2018).

O interesse das empresas em melhoria da visibilidade das cadeias de suprimento colaborou para o crescimento das aplicações de RFID na década passada e o ganho de escala na tecnologia permitiu custos mais acessivos aos hardwares e etiquetas. A padronização do padrão de comunicação com o crescimento das aplicações foi principalmente em EPC-Global e DASH7. A limitação dos sistemas passivos utilizados atualmente está concentrada nos efeitos de atenuação dos sinais as antenas e utilização em produtos líquidos e metálicos por causa da interferência nos sinais e sua aplicação não tende a substituir completamente o código de barras completamente em nenhum segmento de negócio (MUSA *et al.*, 2014).

A proposta baseada em um modelo de rastreamento de bovinos mostra a estrutura conceitual da aquisição de dados para monitoramento de uma cadeia de suprimentos, disponibilizando informações a partir de uma plataforma de dados centralizada, fornecendo informações para diversos interessados e intervenientes é ilustrada na Figura 12 (ADDO-TENKORANG *et al.*, 2019).

Figura 12 - A estrutura de rastreamento baseada em RFID.



Adaptado de (ADDO-TENKORANG et al., 2019).

Segundo Addo-Tenkorang et al., (2019) a montagem de um sistema de coleta de dados para monitoramento e rastreamento com base em tecnologia RFID depende de aquisição de componentes como Etiquetas RFID, transmissores GPRS, GSM, e antenas, cartões SIM com roaming mundial. Adicionalmente, sobre a plataforma, cita um provedor de armazenagem em nuvem e um servidor local para sustentar a rede de coleta de dados, APIs, aplicativos de celular, sistema operacional e um programa de localização do tipo Google Earth.

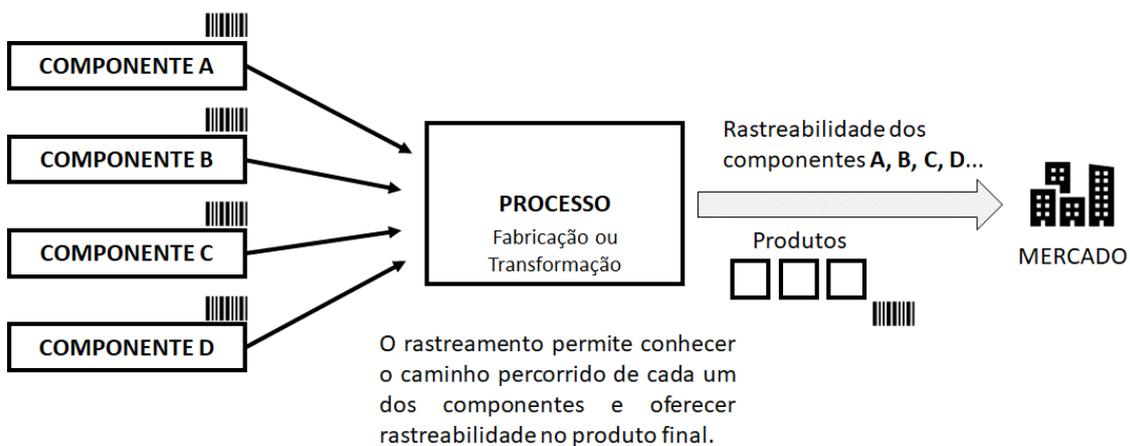
Para a garantia da segurança da informação, todos os sistemas e informações devem ser criptografados, incluindo a base de dados e servidores de acesso, APIs e serviços de navegação web, aplicativos de celulares e informações utilizadas nos sistemas operacionais.

O fracionamento das quantidades e redução dos tamanhos de lote movimentados na cadeia de suprimentos causa um aumento do volume de informação gerado nos sistemas de rastreamento e precisa ser analisado em função dos benefícios obtidos a partir das informações e controle disponibilizado pela sua aplicação. (BERTOLINI et al., 2006).

As etiquetas ativas de RFID após energizadas, podem trabalhar em distintos protocolos: TTF (*Tag Talk First*) em que a etiqueta envia uma informação direta à antena (interrogador) ou ITF (*Interrogator Talk First*) em que a antena envia um sinal à etiqueta interrogando sobre a informação contida no chip (GNIMPIEBA et al., 2015).

Papetti et al., (2012) propõem um sistema de rastreabilidade do tipo *web-based* permitindo a melhoria do gerenciamento logístico dos produtos a partir do aumento da qualidade e da transparência da informação para o consumidor. O sistema coleta informações técnicas durante o processo produtivo incluindo os prazos de validade dos componentes e disponibilizando em uma plataforma na internet com interações e aplicações diferentes em cada fase do processo e para cada fase. A plataforma deve ser gerenciada por uma empresa especializada em hospedagem desse tipo de estrutura para que a informação esteja garantida em termos de qualidade, integridade e acessibilidade, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - O processo de transformação e a rastreabilidade.



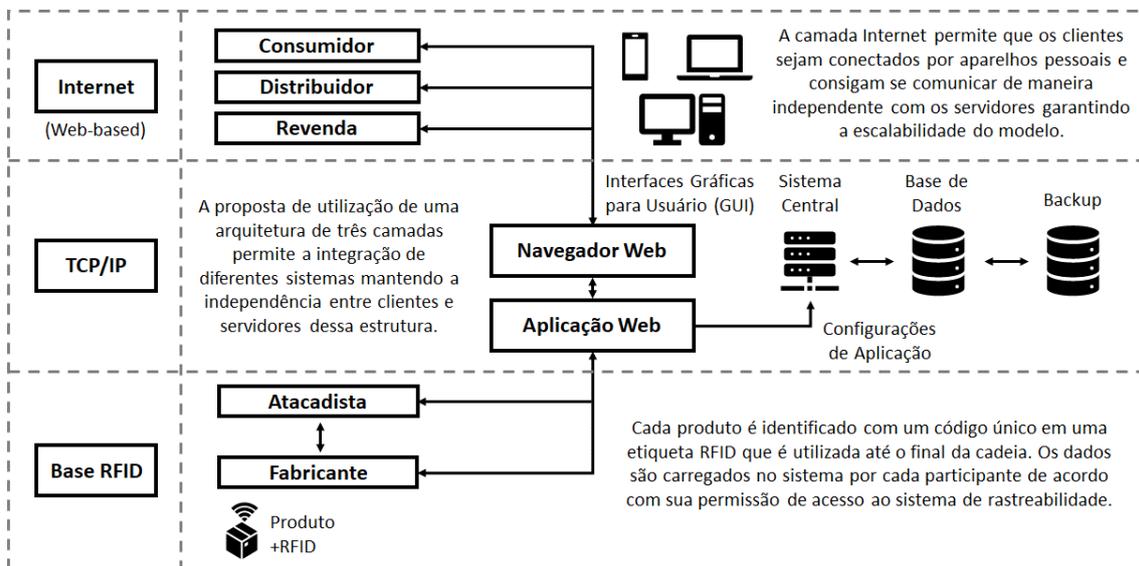
Adaptado de (DABBENE; GAY, 2011).

A construção de uma arquitetura formada em três camadas conceitualmente diferentes do ponto de vista técnico permite que se crie uma relação cliente/servidor que integra diferentes tipos de clientes em diferentes meios de operação com base em internet. Isso permite garantir a independência entre os clientes e os sistemas mantendo também um gerenciamento mais adequado dos níveis de acesso e interação entre os clientes. O protocolo de internet permite aos usuários o acesso à informação por meio de dispositivos

peçoais como por exemplo smartphones, computadores e laptops, facilidade esta que é essencial para garantir a escalabilidade da solução a um nível mais global (PAPETTI et al., 2012).

Utiliza-se linguagem Python para configuração dos sistemas locais, mas é necessário implementar linguagem Java para simplificar a entrada de dados por meio dos dispositivos conectados na rede pelos usuários mantendo a complexidade nos níveis mais internos e oferecendo aos aparelhos linguagens comuns para garantir a conectividade, por exemplos aplicativos já configurados para smartphones conforme ilustrado na Figura 14 (PAPETTI et al., 2012).

Figura 14 - Arquitetura de sistema de rastreamento de produtos baseada em internet.



Adaptado de (Papetti et al., 2012a).

O produto recebe uma identificação única por meio de aplicação de uma etiqueta RFID e via computador, os primeiros dados do processo produtivo são coletados e gravados no sistema. Os dados iniciais são normalmente relacionados a métricas do sistema produtivo como informações de qualidade e testes, informações químicas e físicas do produto, dados de origem, fornecimento, lote e outras características relevantes (PAPETTI et al., 2012).

Os participantes no primeiro nível de distribuição, que são atacadistas, revendedores e distribuidores podem monitorar a cadeia de suprimentos de cada um dos

produtos e contribuir com o processo de rastreabilidade adicionando informações de qualidade na base de dados centralizada a partir de uma aplicação web ou de um portal acessado por meio de um site na internet (PAPETTI *et al.*, 2012).

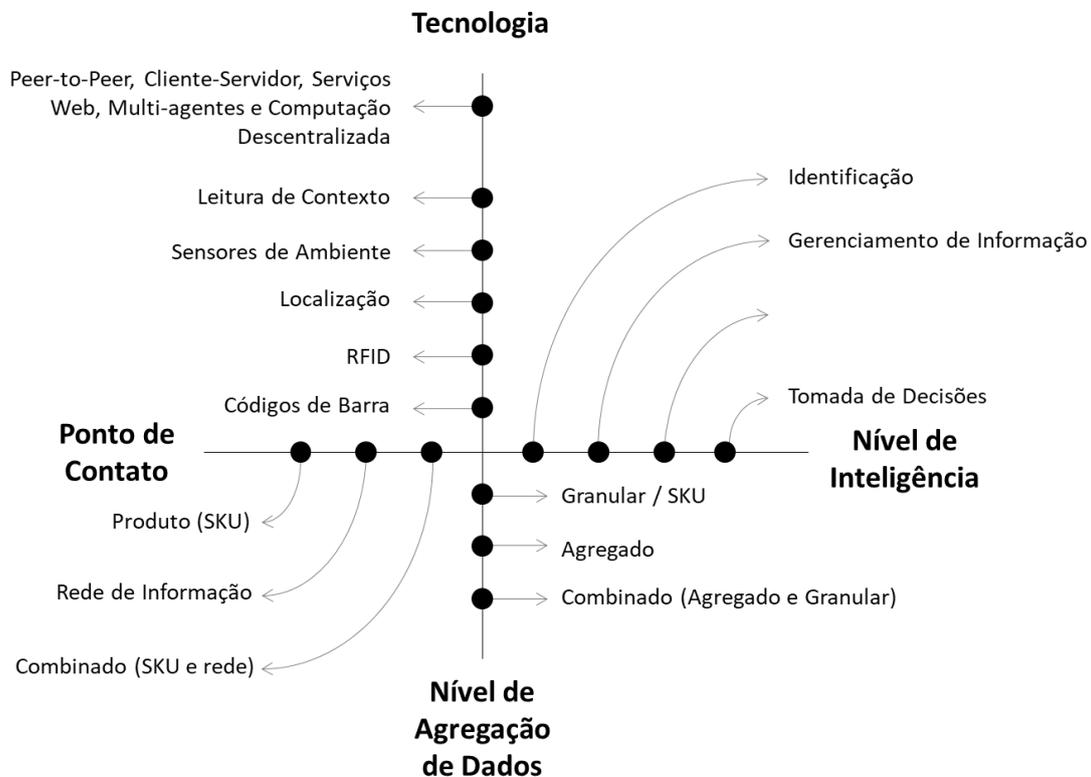
Os consumidores podem obter informações da cadeia de suprimentos de cada um dos produtos comprados a partir da leitura das etiquetas RFID em leitores disponibilizados pelas lojas ou revendedores através de um portal web em computadores pessoais ou a partir de smartphones com aplicativos específicos, para inserção do código da etiqueta do RFID. Os consumidores podem contribuir com a cadeia fornecendo informações e feedback sobre o produto para o sistema por meio de opiniões em interfaces gráficas como blogs ou fóruns de discussão (PAPETTI *et al.*, 2012).

Adicionalmente os dados da cadeia de suprimentos alimentados nessa plataforma permitem que sejam feitas análises técnicas e científicas sobre o comportamento das cadeias de suprimento, variações dos serviços prestados e outras informações para construção de estatísticas e dados para tomadas de decisão e estudo (PAPETTI *et al.*, 2012).

Os envolvidos na cadeia de suprimentos puderam acessar o histórico de produção e movimentação dos produtos analisados a partir do ingresso de um código RFID em uma página na internet fazendo com que sistemas semelhantes fossem adotados em diferentes aplicações para acompanhamento de produtos, auxiliando no gerenciamento da cadeia de suprimentos, movimentação de commodities, adição de valor e gerenciamento de marcas sendo utilizado de maneira semelhante em empresas de logística global ao redor do mundo (PAPETTI *et al.*, 2012).

A maior parte dos sistemas atualmente em operação na cadeia de suprimentos é formada de sistemas autônomos que não estão integrados com tecnologias de sensores, porém, sistemas de identificação que utilizam RFID passivos e de baixo custo podem ainda dentro de uma viabilidade econômica serem integrados a outros sistemas e sensores, como por exemplo sensores de localização, velocidade, acelerômetros, temperatura, umidade, e outros de maneira combinada com as características da etiqueta, conforme Figura 15. As capacidades dos sensores determinam o custo e a qualidade de medição do mesmo. Adicionalmente pode ser necessário a colocação de pequenas antenas para coleta das informações e alguns ambientes podem causar um enfraquecimento severo do sinal complicando a comunicação e coleta dos dados (MUSA *et al.*, 2014).

Figura 15 - Matriz de visibilidade dos sistemas de rastreabilidade.



Adaptado de (MUSA et al., 2014).

2.3.3. Códigos de Barra

O código de barras é uma tecnologia ótica para representação de uma informação. Trata-se de uma representação visual legível a máquinas que apresenta informações específicas do produto ao qual ela está associada. Existem códigos de barra lineares (1D) ou bidimensionais (2D) com padrões de codificação específicos que podem ser locais ou internacionais (MUSA *et al.*, 2014).

Os códigos de barra foram adotados na década de 1970 na indústria de bens de consumo americana para buscar um aumento na produtividade das atividades manuais relacionadas à movimentação e manuseio de mercadorias nas operações de indústria e varejo, resultando em ganhos limitados causados pelo alto custo de investimento em tecnologia na época. (BASKER, 2012).

A criação do conceito de código de barras ocorreu na tese de mestrado de Wallace Flint em 1932, a partir do desenvolvimento de um símbolo que pudesse ser lido por um

dispositivo e gerasse um padrão numérico a ser interpretado por um computador. Essa ideia foi aprimorada e desenvolvida por Bernard Silver e Joseph Woodland nos anos seguintes e em 1949, se obteve a primeira aplicação funcional do que conhecemos hoje como código de barras com leitor óptico patenteado em 1952 pelos criadores. Ao mesmo tempo, Woodland buscava uma solução computacional com apoio da IBM para viabilizar a criação. (BASKER, 2012).

Após o registro da patente, os criadores buscaram vender a ideia e somente em 1962 a empresa Philco se interessou em comprar e ofereceu um preço justo pela tecnologia, porém apenas na década de 1970, quando a tecnologia se tornou mais acessível, os leitores e códigos de barra começaram a ser aplicados comercialmente. Isso demandou padronização dos códigos e leitores, desenvolvimento de ângulos diferenciados de leitura e produção a preço baixo para viabilização do cenário e crescimento da aplicação. (GS1, 2019).

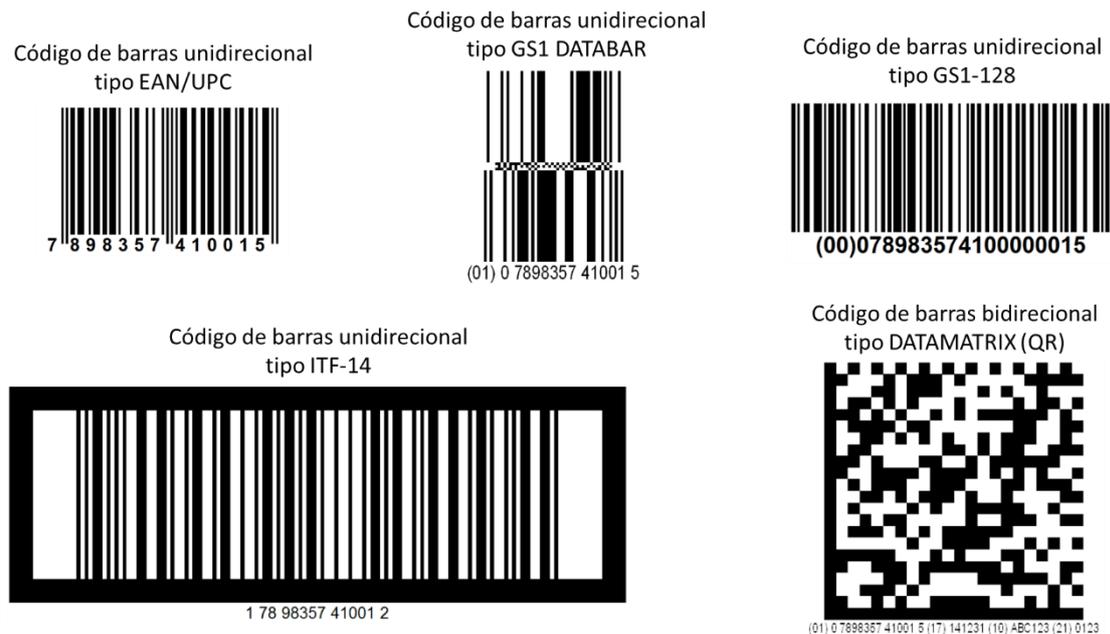
A utilização de códigos de barra exige a criação interna de um banco de dados que será utilizado para referenciar as informações utilizadas pela operação com relação ao produto movimentado. Os dados podem conter somente a identificação ou um conjunto de informações como datas de validade, lote, apresentação, peso, tipo de produto, restrições ou qualquer outra informação relevante conforme o tipo de item. (GS1, 2019).

Os códigos de barra são essencialmente escaneados e lidos por um sistema ótico de scanners chamado de leitor de código de barras e atualmente as leituras podem ser realizadas em aparelhos móveis como smartphones com câmera e até scanners de mesa. O código de barras fornece uma informação precisa e segura em relação ao seu conteúdo sendo apenas as únicas desvantagens dessa tecnologia (1) a leitura passiva, que significa que uma vez criado e impresso, sua informação não pode ser mudada e (2) o scanner precisa de uma distância mínima definida para focar e realizar a leitura (MUSA *et al.*, 2014).

É importante que o sistema utilizado no gerenciamento dessas informações seja capaz de gerar a informação, gerar o código de barras e etiquetas, e também fazer a leitura desses códigos gerados para completar a operação. Pode ser necessária a utilização de softwares específicos para esse fim, com desenvolvimento interno ou busca de fornecedores especializados (GS1, 2019). Atualmente, para se atender a demanda dos

diferentes tipos de operações e negócios, existem diferentes tipos de códigos de barra disponíveis comercialmente no mercado, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Códigos de barra comercialmente utilizados no Brasil.



Fonte: GS1, 2019.

Existem muitos tipos de código de barras lineares (1D) para os mais diferentes tipos de aplicação, que podem incluir desde apenas o código do produto até informações variáveis, códigos alfanuméricos e padrões específicos de leitura e informação em alguns segmentos de mercado. Adicionalmente, existem os códigos de barra de resposta rápida como QR, PSN, IMH, de cupons, EAN, UPC, publicação como ISBN e ISSN, códigos postais, etc. OS códigos de barra bidirecionais (2D) podem agregar muito mais informação que o anterior, e incluem por exemplo os tipos Datamatrix, PFD 4D e 2D Pharma (MUSA *et al.*, 2014).

2.3.4. Códigos de Barra Unidirecionais

O código de barras unidirecional é composto de um padrão de linhas verticais padronizadas dispostas na parte superior da figura e uma sequência numérica na parte inferior, normalmente possuindo 13 ou 14 dígitos. As barras pretas são de diferente

espessura e representam graficamente os algarismos do código a ser lido conforme o padrão escolhido. Cada sequência numérica carrega um conjunto de informações de um determinado item que pode ser lido a partir de um leitor de código de barras. (GS1, 2019).

Códigos de barra EAN/UPC são os mais utilizados em pontos de vendas e comercialmente mais conhecidos. Possuem 13 dígitos (conhecidos como EAN-13) ou pode ser utilizado em aplicações internas com 12 dígitos (conhecidos como UPC-A). Os códigos EAN podem ser utilizados mundialmente e é composto pelo identificador do país da mercadoria, código da empresa cadastrada na base de dados da EAN Brasil, o produto e por último o dígito verificador (SÊNIOR 2021).

Os códigos de barra tipo GS1 DATABAR são códigos criados com tamanho reduzido permitindo a aplicação em produtos fisicamente menores e com espaço restrito como frutas, legumes, joias e outros e tem uma capacidade de armazenamento de informações maior que o EAN13. Ele possui um caractere de proteção ao lado esquerdo porque é um código de leitura multidirecional e possui a capacidade de conter um código alfanumérico, porém não pode conter símbolos e caracteres especiais. (COGNEX 2021).

O código de barras ITF-14 ou DUN-14 é utilizado principalmente em processos internos de logística e possui 14 dígitos. Normalmente é impresso diretamente em caixas, volumes unitizados como pallets, fardos, bags e grandes caixas e pode ser lido à distância por um coletor apropriado. Esse tipo de código pode armazenar informações de caixas coletivas, múltiplos de vendas. Geralmente aplicado a unidades homogêneas e embalagens coletivas favorece o controle e movimentação e estoques em operações logísticas diversas e geralmente é formado a partir do EAN-13 e possui um dígito verificador próprio. (COGNEX, 2021).

Os códigos GS1-128 são muito utilizados em operações logísticas, mas não aplicáveis nos pontos de vendas. Geralmente possuem informações suficientes para rastreamento de cargas e acompanhamento de movimentações diversas de produtos contendo informações como por exemplo números de série, lote, data de validade, peso, dimensões do produto e outros dados variáveis pertinentes (GS1, 2019).

2.3.5. Códigos de Barra Bidirecionais

Os códigos de barra bidirecionais ou 2D são códigos compostos de pequenos módulos brancos e pretos geralmente organizados em um padrão quadrado que possui dados criptografados na figura podendo absorver até 2.335 caracteres alfanuméricos em uma combinação entre colunas e linhas permitindo fornecimento de dados em um produto durante um processo em uma imagem pequena ocupando muito pouco espaço físico. O código de barras 2D permite leitura imediata do conteúdo e o fornecimento de informação acurada no processo sendo aplicado em diversos segmentos como automotivo, sites web, gerenciamento de vendas e produtos (YAN et al., 2018).

Os códigos de barras bidirecionais também conhecidos como códigos QR são uma evolução do código de barras unidirecional e surgiu para atender novas demandas dos negócios e operações e podem ser lidos a partir de qualquer dispositivo móvel que possua câmera, dispensando o uso exclusivo de leitores tipo scanner. (GS1, 2019).

O código de barras bidirecional apresenta diversas vantagens de aplicação podendo colaborar para os processos de rastreabilidade de produtos, segurança, pirataria, funções de correção de erros, informações em diferentes formatos como números, textos, imagens, folhas, com capacidade maior que o código de barras unidirecional e custo baixo (YAN et al., 2018).

As principais vantagens observadas na logística são: alta capacidade de armazenamento de informações com pelo menos dez vezes maior armazenamento que um código de barras unidirecional; capacidade de armazenamento de diferentes tipos de informação entre textos, imagens, sons, impressões digitais, expressões em línguas diferentes; Segurança contra erro a partir do uso de algoritmos de correção para criação do padrão correto de imagem para posterior decodificação que trabalham com o efeito de redundância de informação; Capacidade de decodificação em caso de erro maior do que em outro sistema de leitura visual; Facilidade de produção, com design fácil e podendo ser impressa diretamente no produto a partir de uma impressora, oferecendo baixo custo; Conveniência, pode ser lida facilmente por um leitor ou celular com câmera (YAN et al., 2018).

Por conta do rápido desenvolvimento e adoção dos códigos de barra bidirecionais, existe uma quantidade muito grande de sites e aplicações baseadas em web para suportar

o uso da tecnologia no mercado, oferecendo softwares de leitura de fácil instalação e baixo custo de aquisição (YAN et al., 2018).

O código tipo GS1 DATAMATRIX é o tipo mais conhecido de código de barras tipo bidimensional e também chamado de QR-CODE possui tamanho mais reduzido que o código de barras unidirecional e possui diversas informações sobre o produto. Sua leitura pode ser feita a partir de leitores e dispositivos móveis que possuem câmeras, como por exemplo smartphones e é frequentemente adotado em caixas de medicamentos e outros produtos que buscam disponibilizar ao consumidor mais informações sobre o mesmo. Pode ser impresso diretamente na embalagem. (GS1, 2019).

2.4. Blockchain

2.4.1. Definição do Blockchain

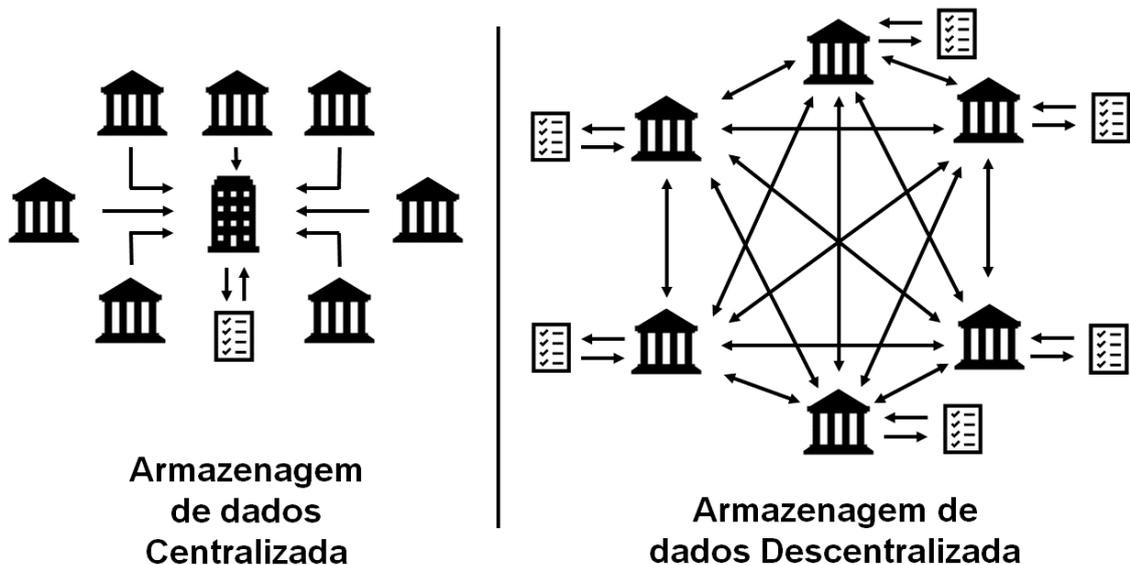
O conceito de Blockchain foi introduzido em 2008 com a criação da moeda digital Bitcoin por Satoshi Nakamoto. A criptomoeda é a primeira e mais provável maior aplicação de sucesso dessa tecnologia até o momento, mas potencialmente não limitada ao mercado financeiro. Pode ser aplicado em qualquer atividade complexa que requeira transações e armazenamento de informações confidenciais sem a obrigatoriedade de uma interação cara a cara das partes envolvidas. (TAN ;THI, 2020).

De maneira simples, o Blockchain é definido como um sistema de registro de dados descentralizado que mantém gravada todas as transações de maneira distribuídas construindo o conceito de rede *peer-to-peer*. Nesse modelo existe a interação entre cada participante (*peer*) garantindo os cinco princípios básicos do Blockchain: segurança, transmissão *peer-to-peer*, transparência com anonimidade, imutabilidade dos dados e lógica computacional. (TAN ;THI, 2020).

Blockchain é um banco de dados distribuído (*distributed ledger*) que consiste em blocos de dados interconectados protegidos por conceitos criptográficos contra adulteração. O Blockchain funciona sem uma autoridade central controladora e é gerenciado usando o consenso de seus participantes da rede. Cada nó em uma rede Blockchain tem uma cópia dos dados que aumentam continuamente à medida que novos blocos são adicionados. Uma vez adicionado ao Blockchain, os dados não podem ser excluídos, a menos que com o acordo de todos ou a maioria dos participantes da rede

garantindo a imutabilidade da informação (SANKA et al., 2021). A figura 17 ilustra a estrutura descentralizada de armazenagem Blockchain, comparando outra centralizada.

Figura 17 - Estrutura de armazenagem de dados - Blockchain.



Adaptado de (TAVARES; IGNÁCIO, 2019).

Inicialmente introduzida como a tecnologia subjacente associada à criptomoeda bitcoin criptomoeda, a tecnologia Blockchain é uma estrutura de registros distribuídos que opera no sistema ponto a ponto ou *peer-to-peer* construído em uma infraestrutura descentralizada. O Blockchain permite execução de transações seguras sem a necessidade de terceiros confiáveis ou validados para executar qualquer tipo de verificação. Apesar do foco principal em aplicações financeiras, estudos recentes têm mostrado o valor para a cadeia de abastecimento, destacando seu potencial em digitalização, rastreabilidade, segurança de dados, imutabilidade e desintermediação ao longo da cadeia de suprimentos global (IRANNEZHAD et al., 2021).

Trata-se de uma tecnologia disruptiva de grande contribuição para diversos modelos de negócio que traz a construção de relações comerciais e transacionais sem a necessidade de intermediários e controladores podendo substituir diversas funções em uma operação criando uma nova abordagem para a lógica industrial (TÖNNISSEN; TEUTEBERG, 2020).

A tecnologia Blockchain pode ser considerada uma inovação industrial disruptiva. Esta nova tecnologia ganhou ampla atenção e popularidade entre estudiosos e profissionais desde sua introdução no final da primeira década do século 21 no artigo de Nakamoto sobre bitcoin, e vem se desenvolvendo a ponto de ser considerado hoje um pilar fundamental da Iniciativa Indústria 4.0. (GARRIDO et al., 2021).

A IoT- Internet das Coisas torna objetos inanimados e ferramentas capazes de detectar e coletar informações respondendo às necessidades dos usuários humanos sem avisar ou necessitar comando. Ela permite que os dispositivos "sintam" e, em seguida, "ajam", comunicando-se e coordenando-se uns com os outros via internet, sendo necessária disponibilidade de hardware como sensores e tecnologia de comunicação; *middleware* para conexão e processamento por computadores; e conhecimento e ferramentas de visualização e interpretação para que as informações se tornem legíveis e processáveis. (DE VILLIERS et al., 2021).

O desenvolvimento da tecnologia IoT está antecipando a revolução digital chamada de Indústria 4.0 na qual os processos de manufatura são interligados entre maquinários e produtos e extrapolados para fora do ambiente fabril. A ideia do IoT é a criação de uma rede aberta e abrangente de aparelhos e dispositivos capazes de se organizar automaticamente entre si compartilhando recursos e dados de maneira a se flexibilizarem para atender situações que exigem mudanças (TAN; THI, 2020).

A IoT pode ser aplicada a quase qualquer configuração para a qual sensores apropriados podem ser desenvolvidos. Por exemplo, a IoT pode ser aplicada à indústria, por monitoramento de processos de manufatura e logística; o ambiente, por meio do monitoramento de reciclagem e gestão de energia; e sociedade, através da compreensão de como as comunidades vulneráveis se envolvem com os serviços governamentais. (DE VILLIERS et al., 2021)

Os benefícios promovidos pelo Blockchain estão relacionados à eficiência e transparências de transações e trocas de informação. A implementação em uma cadeia de suprimentos pode impactar na criação de comunicação compartilhada em tempo real, segurança cibernética, transparência, confiabilidade, rastreabilidade e aumento da visibilidade, para todas as empresas dessa cadeia que estejam conectadas à rede Blockchain (ASLAM et al., 2021).

A confiança indica uma troca de expectativas do parceiro em que a outra parte pode confiar, se comportar como esperado e agir razoavelmente. A confiança é uma das principais características da tecnologia Blockchain. A principal característica dos protocolos de Blockchain é fornecer uma gravação imutável de transações, combinando um banco de dados distribuído cujos blocos de transações são conectados cronológica e criptograficamente através de mecanismos de consenso descentralizados (CENTOBELLI et al., 2021). O Quadro 7 apresenta as principais características do Blockchain.

O Blockchain é uma base de dados descentralizada e organizada no modelo peer-to-peer compartilhada entre múltiplos usuários que permitiu a criação de criptomoedas como o Bitcoin. A rede permite a formação de dados imutáveis e compartilhados em uma estrutura conhecida como *Distributed Ledger* que funciona a partir de um protocolo ligando cada uma das transações por meio de um algoritmo matemático que garante acuracidade e segurança da informação. (TAVARES; IGNÁCIO, 2019) e sua estrutura matemática de criptografia é montada de uma maneira que tecnicamente é quase impossível falsificar ou burlar (PERRONS; COSBY, 2020)

Uma característica significativa da tecnologia Blockchain é a criação de um sistema de confiança entre diferentes usuários dentro da rede, que permite usuários concordar de forma consensual e digital com qualquer alteração no banco de dados. Redes Blockchain permissionadas torna os dados menos acessíveis para alguns de seus usuários finais por meio de níveis de acesso ao conteúdo da rede, limitando assim os fatores que impactam na confiança da rede. Em redes Blockchain públicas, o processamento das informações é neutro e equidistante de todos os participantes, trabalhando de maneira homogênea os fatores que influenciam na confiança da rede, punindo usuários ou nós que interferem na rede de maneira maliciosa ou incorreta (BAMAKAN et al., 2021).

Quadro 7 – Principais características do Blockchain (TÖNNISSEN; TEUTEBERG, 2020)

Características	Descrição
Anonimidade	O Blockchain utiliza chaves privadas de acesso que garantem privacidade e anonimidade.
Auditabilidade	Os dados no Blockchain são livres de erros visíveis ao longo da cadeia de suprimentos aumentando a eficiência das auditorias.
Base Descentralizada	Os dados não são armazenados em um servidor central, mas distribuídos através dos nós da rede.
Imutabilidade	Os dados transacionais não podem ser alterados ou mudados.
Gerenciamento de Risco	A execução dos pagamentos é possível instantaneamente eliminando o risco das partes relacionados a falhas ou atrasos de pagamento.
Procedência	Um único Token digital é atribuído ao produto em cada uma das transações realizadas ao longo da cadeia de suprimentos.
Redução de Custos Transacionais	O custo transacional reduz pela eliminação de intermediários presentes nas cadeias de suprimentos tradicionais.
Redução e estabilização de <i>Lead Times</i>	A redução do número de intermediários e eliminação das necessidades de verificação e validação das transações por agentes externos refletem em <i>Lead Times</i> menores.
Base de Dados Segura	Os dados no Blockchain são à prova de violação e manipulação.
Base de Dados Compartilhada	Os acessos são permitidos apenas aos parceiros relevantes e necessários.
<i>Smart Contracts</i>	Contratos eletrônicos com os termos acordados, condições e regulamentações entre os parceiros.
Rastreabilidade	A procedência dos dados suporta a rastreabilidade dos produtos disponibilizando informações detalhadas sobre origem e processos do produto acabado.
Transparência	Os dados são visíveis a todos os parceiros relevantes à transação em tempo real e todas as transações são baseadas e validadas por mecanismos de consenso.

A Tecnologia de *Distributed Ledger* (DLT) é um repositório de informação gerenciado e mantido por muitos participantes sem a necessidade de confiança assumida entre eles, tendo cada um deles os mesmos direitos e controles sobre esse repositório de dados podendo comunicar-se diretamente em uma estrutura descentralizada conhecida como *peer-to-peer*. As trocas de informação dependem do cumprimento de regras para

inclusão de novos dados para garantir a segurança e imutabilidade, eliminando-se assim a necessidade de um intermediário ou controlador do sistema. (MAESA; MORI, 2020).

O *Distributed Ledger* é um agrupamento de blocos de dados que oferece segurança de registro de informações em sua estrutura garantindo que cada bloco de informações conectado possua um *hash* vinculado à uma transação anterior. Esses valores são criados usando-se funções que convertem qualquer informação em um valor único de 256 bits e para corromper um bloco, todos os blocos anteriores devem ser manipulados. Tal ação é tecnicamente muito difícil pois na validação feita de maneira descentralizada utiliza-se de criptografia e mecanismos de consenso coletivo que envolvem vários participantes simultaneamente (DAS et al., 2022).

Os participantes empregam um mecanismo de consenso a partir de algoritmo matemático para efetuar suas atividades na rede que é composta por um grupo de entidades autônomas que interagem entre si buscando coerência nas atividades de registro de informações e atualização dos dados. O Blockchain pode ser um dos sistemas utilizados para operação de uma rede descentralizada tipo *Distributed Ledger*. (MAESA; MORI, 2020).

A tecnologia Blockchain é uma rede de sistemas de informação que contém informações digitais de informações sobre transações realizadas em estruturas distribuídas, como uma alternativa aos sistemas tradicionais centralizados, como por exemplo dos bancos, agências governamentais e outros (MIN, 2019).

Blockchain é uma tecnologia de *Distributed Ledger* segura que gerencia criptomoedas como Bitcoin e Ether. Tecnologias de criptografia e rede *peer-to-peer* são implantadas por Blockchain para verificar e sincronizar registros entre pares distribuídos sem necessidade de um administrador ou controlador centralizado. A ideia central da rede Blockchain é a descentralização, obtida através da construção de uma rede de nós (DAS et al., 2022).

Cada nó verifica as ações de outras entidades na rede, podendo também criar, autenticar e validar a nova transação a ser registrada no Blockchain. Essa arquitetura descentralizada garante operações robustas e seguras no Blockchain com a vantagem de resistência à violação e nenhuma vulnerabilidade de falha de ponto único. Cada nó de usuário consiste em um registro e um contrato inteligente (DAS et al., 2022).

O *Distributed Ledger* é formado pela replicação do mecanismo de consenso, compartilhamento e sincronização da informação digital distribuídas entre os nós da rede que são ligados aos participantes sem a necessidade de um administrador central. Os nós na rede agrupam as transações criptografadas em blocos. Todos os nós tem responsabilidade de determinar a validade das transações e são mantidos imutáveis dentro do Blockchain (SUNMOLA, 2021).

Uma rede Blockchain fornece uma infraestrutura de programação de aplicação geral e pode conter programas específicos de controle de criptomoedas Adaptado de funções pré-definidas e *Smart Contracts* para gerenciamento, eliminando terceiros e intermediários das transações realizadas no sistema (KAMBLE *et al.*, 2019).

Uma rede Blockchain é uma concatenação de dados combinada em blocos individuais e armazenados em uma rede descentralizada com armazenamento em todos os computadores dos usuários dessa rede. Esta sequência de dados em blocos resulta em uma lógica que reflete o curso das transações na forma de uma cadeia cronologicamente organizada e criptografada. Os blocos de dados são protegidos contra alterações subsequentes por meio de métodos criptográficos. A inclusão de um novo registro no Blockchain requer a execução de um mecanismo de consenso para validação da informação entre os participantes. (TÖNNISSEN; TEUTEBERG, 2020).

A estrutura descentralizada e confiável de um Blockchain combina a utilização de *Distributed Ledgers*, criptografia e protocolos de consenso que podem rastrear e armazenar os status presentes e históricos de ativos ou eventos intangíveis em uma rede descentralizada *peer-to-peer*, salvando as informações em blocos organizados consecutivamente no formato de uma rede de blocos e protocolos de criptografia previnem qualquer tipo de alteração no dado armazenado no bloco necessitando de colaboração da maioria dos participantes da rede para gravar a alteração mantendo o histórico (LU *et al.*, 2021).

Hashes criptográficos permitem que as transações sejam vinculadas umas às outras em sequência cronológica, onde uma pequena mudança em um detalhe de transação cria uma mudança significativa na saída de *hash* final. Isso torna a identificação de erro ou fraude dentro de um bloco de transação para adiante no Blockchain. Nas redes públicas, os blocos são então "auditados" por nós especiais na rede pelos chamados mineradores que são encarregados de resolver um quebra-cabeça matemático complexo que verifica

cada transação, usando funções *hash* criptográficas executando o *Proof of Work* (PoW), o mecanismo utilizado para chegar a um consenso de que as transações estão corretas (DE VILLIERS *et al.*, 2021).

Além do Blockchain fornecer visibilidade de toda a cadeia de suprimentos para quem está realizando as ações com detalhes de data e hora, ela também pode ser utilizada para eliminação de intermediários e auditores, permitindo menores custos transacionais e maior eficiência sistêmica. O mecanismo de rastreabilidade criado pelo Blockchain auxilia na prevenção de vários tipos de fraude em toda a cadeia de suprimentos (BUMBLAUSKAS *et al.*, 2020).

Diferentes tipos de indústria e redes de varejo obtém resultados significativos a partir da descentralização das operações de uma cadeia de suprimentos de maior porte, com a eliminação por exemplo de documentação e controles burocráticos como lançamentos contábeis e escrituração fiscal, documentações diversas. (KAMBLE *et al.*, 2019).

O Blockchain pode reduzir o risco e aumentar a eficiência de uma cadeia de suprimentos por reduzir o número de intermediários e assegurar transparência e rastreabilidade de informações. Adicionalmente, os riscos e incertezas mitigados pela redução dos intermediários e equalização de condições entre os participantes da rede pode garantir melhores oportunidades e competitividade para que pequenos fornecedores possam se integrar de maneira segura à cadeia de suprimentos com interações realizadas em tempo real, assim como transações e atividades que fazem parte do processo de transformação dos produtos ao longo da cadeia de suprimentos. (KAMBLE *et al.*, 2019).

A descentralização da informação permite a eliminação dos intermediários como uma consequência da estrutura da tecnologia Blockchain e sua estrutura, que acabam por absorver algumas atividades hoje desempenhadas por intermediários como por exemplo transmissão de informação, construção de ambientes confiáveis por meio de validações diversas, dados de abastecimento e demanda, fornecimento de plataformas, governança e *compliance*, restando apenas intermediários de operações e atividades físicas estritamente necessárias ao andamento da operação (TÖNNISSEN; TEUTEBERG, 2020).

A primeira aparição da ideia de aplicação de Blockchain no mundo científico foi em novembro de 2015 com Alexis Bateman que acreditou que essa nova tecnologia

poderia se desenvolver e ser uma resposta para a necessidade de mineração e dados para obtenção de informações de rastreabilidade de produtos até então. No mesmo ano, uma empresa no Reino Unido chamada “Provenance” publicou um projeto de aplicação de Blockchain para rastreamento de produtos e derivados de peixes para atender a demanda crescente de informações no mercado. Esse sistema começou a operar em meados de 2016 (BARALLA *et al.*, 2020).

A tecnologia Blockchain fornece um alto nível de confiança nas transações realizadas como parte de sua estrutura devido ao mecanismo de consenso para validação dos blocos de informação processados pelos parceiros conectados aos nós durante o processo de criptografia (TÖNNISSEN; TEUTEBERG, 2020).

Segundo Sanka *et. al.*, (2021), tecnologia Blockchain possui características próprias que a tornam benéfica a diversos tipos de negócio. A força e as características promissoras de sua estrutura foram observadas pela primeira vez com o sucesso do Bitcoin, cujo mercado de capitais agora chega a 191 bilhões de dólares. O Blockchain protege os registros de dados, reduz custos operacionais e fornece transparência nas transações. Os recursos, benefícios e características do Blockchain podem ser resumidos em:

- **Natureza distribuída:** Os mesmos dados do Blockchain são armazenados simultaneamente por diferentes usuários localizados nos nós da rede Blockchain. Se um nó apresentar defeito ou perder seus dados, outros nós da rede ainda têm a cópia do Blockchain e continuam atualizando a informação de maneira dinâmica. O nó afetado pode copiar novamente o Blockchain dos outros nós. Este recurso evita a perda de dados, adulteração de registros como bem como altos gastos em criptomoedas.
- **Integridade e segurança de dados:** O Blockchain é à prova de adulteração no sentido de que quando qualquer dado em qualquer bloco é alterado, ela é detectada devido à mudança no hash do bloco que será diferente do hash armazenado anteriormente no próximo bloco. Para um adversário mal intencionado ter sucesso, ele deve modificar os dados dos blocos de todos os computadores da rede o que é praticamente inviável para uma rede de grande porte garantindo a proteção contra violação de dados no Blockchain.

- **Transparência e rastreabilidade:** Uma vez que os registros do Blockchain são marcados com data e hora e armazenados em todos os nós gravados na rede, todas as atividades e transações podem ser verificadas e vistas por todos os usuários. Se o endereço de um nó for conhecido, todas suas atividades e transações poderão ser rastreadas tornando o Blockchain uma ferramenta transparente e rastreável.
- **Natureza descentralizada:** O Blockchain dispensa autoridades centrais e intermediários, tornando-se mais adequado para situações de negócio em que existe baixo grau de confiança entre os participantes. No entanto, as redes Blockchain privadas ou permissionadas podem ser parciais ou totalmente controladas, o que não invalida os benefícios da tecnologia.
- **Redução de custos:** O uso do Blockchain possibilita redução de custos transacionais e pela eliminação de intermediários que devem ser remunerados em um sistema tradicional.
- **Eficiência:** O Blockchain permite que os sistemas funcionem de forma autônoma com mais eficiência resultante da remoção de subsistemas intermediários garantindo uma eficiência operacional distinta comparado com sistemas tradicionais.
- **Interoperabilidade:** O Blockchain fornece uma plataforma segura de compartilhamento de dados que permite disponibilização de dados e sincronizar serviços a todos os participantes da rede favorecendo a interoperabilidade e enriquecendo a interação entre os participantes utilizando-se dos benefícios do Blockchain.
- **Verificabilidade:** A criptografia presente no Blockchain, garante que a autenticidade de um registro de dados possa ser verificada e requer mecanismos criptográficos e assinatura digital. Essa capacidade de verificação é um diferencial quando comparado com outros bancos de dados comercialmente aplicados em diferentes modelos de negócio.

O Blockchain oferece um nível de segurança de informação superior pois por conta do mecanismo de consenso para validação do dado transacional e criptografia antes da distribuição da informação, é necessário que um hacker, para fraudar o sistema, altere

toda a informação em todos os blocos na história dessa transação simulando o consenso de todos os usuários conforme as regras da rede (MIN, 2019).

A segurança do Blockchain está relacionada à dificuldade de destruir, alterar ou excluir os registros inseridos no banco de dados garantindo a imutabilidade dos dados. A data e hora da transação são processadas em cada novo registro adicionado ao Blockchain de maneira linear e cronológica criptografadas por fortes algoritmos de consenso, e os usuário na rede tem acesso às informações de todos os registros conforme sua permissão fazendo possível a rastreabilidade e a transparência (BUDAK; ÇOBAN, 2021).

A estrutura do Blockchain também fornece uma maneira precisa de garantir a qualidade do produto durante o transporte como resultado da segurança intrínseca da tecnologia, podendo-se armazenar e analisar quaisquer dados no percurso do produto identificando fatores que influenciam na sua qualidade. Esse acompanhamento e registro na rede descentralizada, além de eliminar um grande volume de registros manuais e manutenção de dados, permite a criação de sinais de alerta entre os participantes da cadeia para tomar ações antecipadamente caso alguma das medições esteja fora das especificações, controlando sérios riscos para o usuário final principalmente para produtos perecíveis (KSHETRI, 2021)

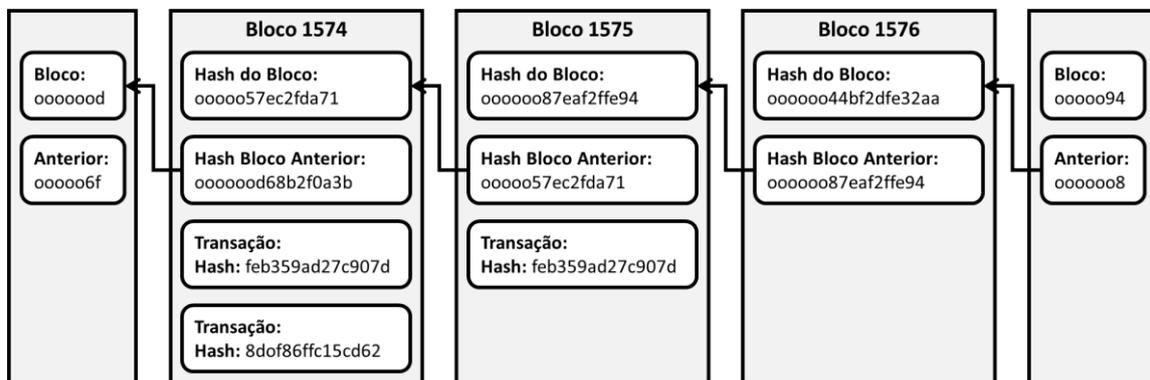
O Blockchain é uma cadeia de blocos ordenada cronologicamente e validados por um algoritmo que trabalha problemas matemáticos com funções unidirecionais para a formação dos *hashs* que são os códigos ou identificadores exclusivos de cada um dos blocos funcionando como uma assinatura digital única. O tamanho do Blockchain cresce conforme as transações são realizadas e registradas e cada novo bloco possui uma referência ao hash do bloco anterior de modo que seja possível garantir a união entre eles e a rastreabilidade da informação. (GUPTA, 2017).

Em um Blockchain os blocos são criados por uma rede de nós distribuída ponto a ponto que buscam resolver problemas computacionalmente complexos de criptografia para calcular *hashes* dos novos blocos, conforme ilustrado na Figura 18. Depois que um hash foi calculado, ele deve ser validado por outros membros da rede. Este objetivo é alcançado através da aplicação de um mecanismo de consenso denominado Prova de Trabalho (*Proof of Work* - PoW). A seguir, o bloco recém-gerado é registrado com data e hora e ligado aos blocos anteriores por meio de um hash. Cada nó pode então visualizar o

bloco e verificar seus dados associados a qualquer momento conforme as permissões (IRANNEZHAD et al., 2021).

O Blockchain atende os desafios existentes em modelos de negócio em que existem intermediadores que controlam o fluxo de produtos e fluxo financeiro controlando os mercados em situações de baixo nível de confiabilidade, incluindo algumas commodities e aumentando diretamente o custo total da cadeia de suprimentos impactando em diversos mercados, especialmente os emergentes (KSHETRI, 2021).

Figura 18 - Estrutura da cadeia de blocos Blockchain.



Adaptado de (GUPTA, 2017).

Adicionalmente, o Blockchain colabora para aumento da transparência da cadeia de suprimentos entre os participantes e também do ponto de vista do consumidor que pode acompanhar e entender o caminho percorrido por seu produto atendendo aos anseios e expectativas de sustentabilidade nas operações logísticas ao redor do mundo defendida por jovens, ativistas e organizações interessadas na preservação ambiental (KSHETRI, 2021).

2.4.2. Funcionamento do Blockchain

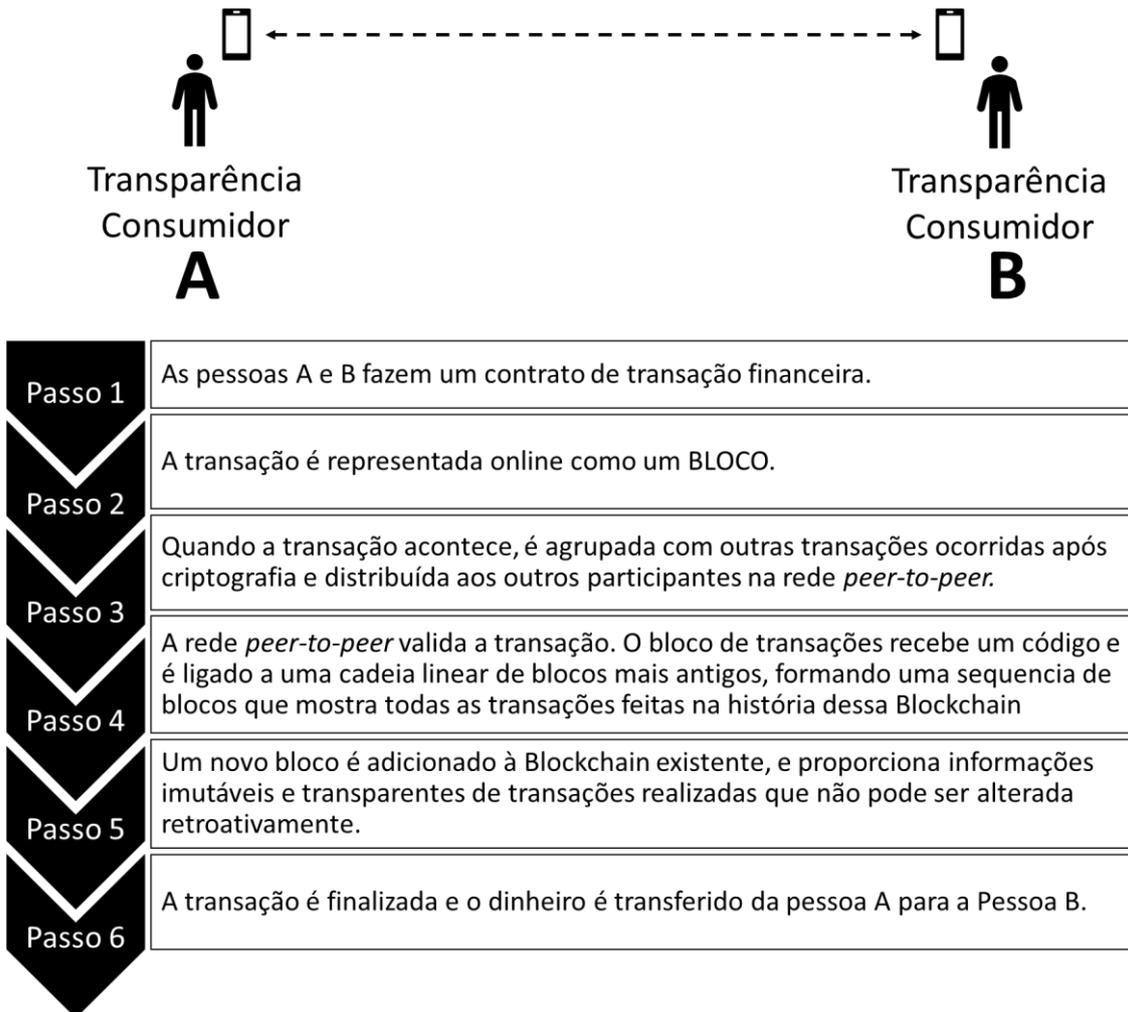
O Blockchain é utilizado em situações que exigem um ambiente de confiança entre diferentes usuários que dependem da estrutura da tecnologia para ser garantido. A gravação dos dados nos registros distribuídos (*Distributed Ledgers*) combinadamente com os mecanismos de consenso para validação da informação, criptografia para entrada

dos dados e garantia da segurança contra manipulação ou alteração garantem esse ambiente seguro com rastreabilidade dos dados e eventos ocorridos (SANKA et al., 2021).

A gravação de uma informação no Blockchain inicia-se a partir do envio a informação de um usuário certificado ou autorizado com uma assinatura digital que passa por autenticação na rede. A informação é então transmitida para a rede peer-to-peer Blockchain para verificação e adição. Os nós recebem a informação e transmitem aos outros nós conectados até a chegada aos nós programados como mineradores e validadores, que coletarão a informação, validarão com algoritmo de consenso e adicionarão ao Blockchain. Após a criação do bloco e com o consenso dos validadores, outros nós distribuirão o bloco gravado e repetirão as verificações de aceitação da informação, adicionando os blocos aos seus registros replicando o Blockchain, conforme exemplificado na Figura 19 (SANKA et al., 2021).

A criação dos *hashs* é feita de maneira criptografada e e criam impressões digitais singulares para qualquer tipo de dado que se queira gravar em um Blockchain que por sua classificação unidirecional permite que seus valores de entrada sejam rastreados com base nos valores de saída, porém impossibilita a recuperação ou alteração dos dados originais fazendo-se o caminho inverso a partir do valor gerado pelo hash (BUCHMANN, 2013).

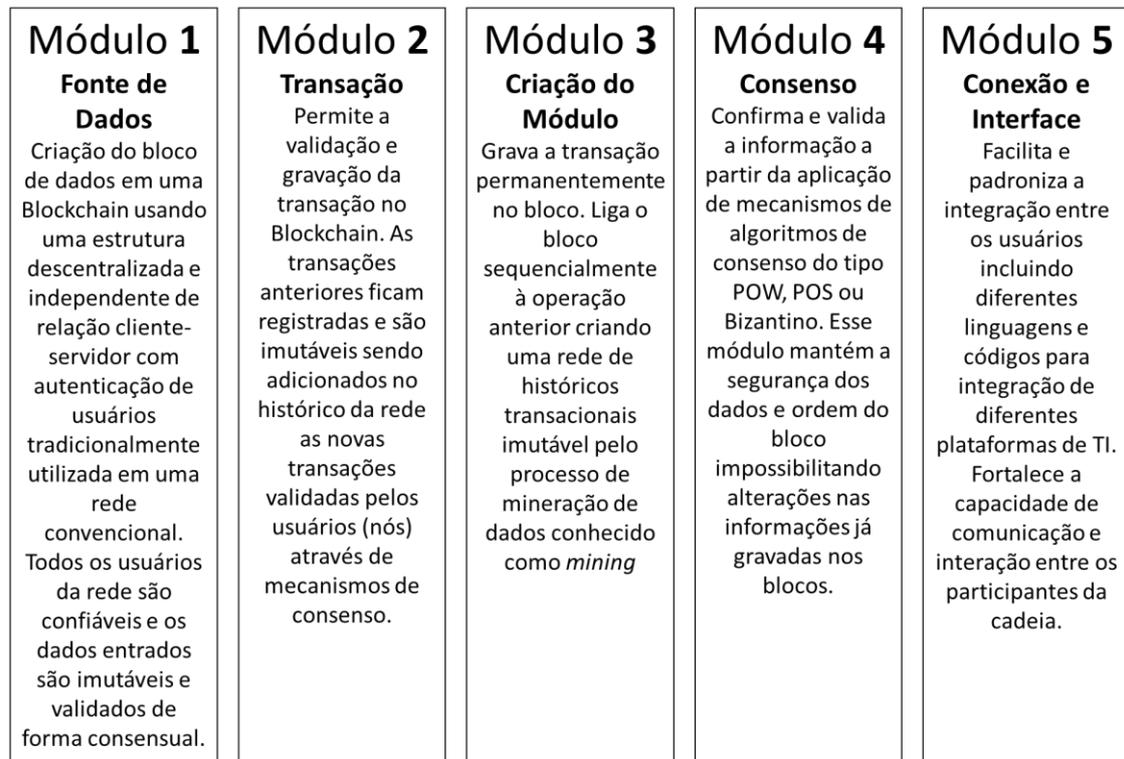
Figura 19 - Esquema básico de funcionamento do Blockchain.



Fonte: (MIN, 2019).

Tecnicamente, o Blockchain é dividido em cinco módulos, como ilustrado na Figura 20, que são organizados de modo a facilitar a interação entre a obtenção da informação e os mecanismos tecnológicos para construção do bloco e disponibilização dos registros na rede descentralizada. A colaboração entre os parceiros de uma cadeia de suprimentos para criar uma arquitetura de Blockchain é um requisito importante para o funcionamento correto dessa rede, e depende do alinhamento de objetivos comuns entre eles para que os esforços e investimentos sejam equilibrados, assim como os benefícios gerados por essa interação (MIN, 2019).

Figura 20 - A organização básica de um Blockchain.

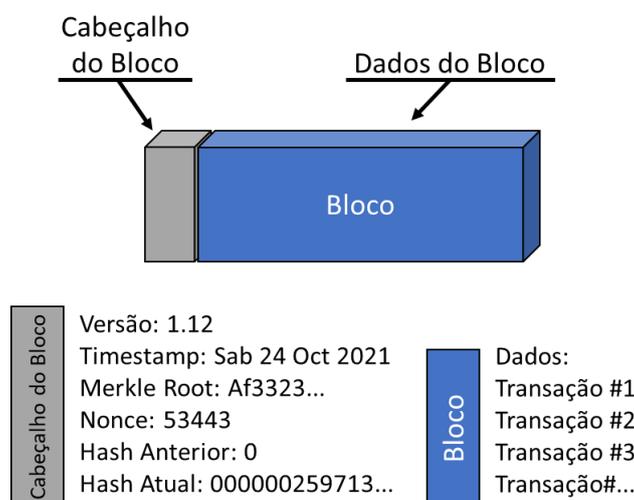


Fonte (MIN, 2019).

Os blocos consistem no cabeçalho e dados da transação. O cabeçalho do bloco é formado por vários itens como o hash do bloco anterior, registro de data e hora, *Hash Raiz* (ou Registro Merkle), dificuldade e o *nonce* da criptografia (*number only used once*) podendo variar em função do protocolo usado. Os dados da transação contêm todas as transações registradas no bloco. O bloco *Genesis* é o primeiro bloco em um Blockchain e é o único que não tem hash de bloco anterior. Todos os blocos podem ser rastreados até o bloco de *Genesis* para verificação garantindo a rastreabilidade completa (SANKA et al., 2021).

O Blockchain consiste em dados transacionais gravados em pacotes chamados de blocos que são ligados de maneira imutável formando uma corrente sequencial. Cada um dos blocos contém um cabeçalho com metadados ligado a um bloco com dados, conforme Figura 21 (BOTCHA et al., 2019).

Figura 21 - Estrutura do Blockchain.

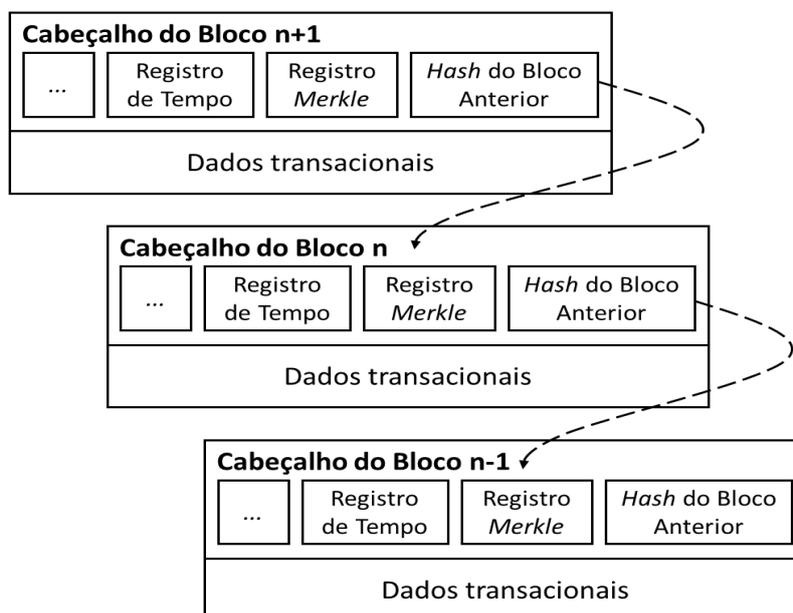


Baseado em (BOTCHA et al. 2019).

A estrutura do Blockchain garante que os blocos sejam ligados entre si em uma ordem cronológica com base na referência que o bloco possui em relação ao bloco anterior, impossibilitando a alteração de dados de um bloco sem alteração dos mesmos dados nos blocos posteriores, como ilustrado na Figura 22. A segurança inerente da estrutura Blockchain garante a integridade de todos os dados carregados na rede em toda a plataforma (BOTCHA et al., 2019).

O mecanismo de consenso é usado para formalizar um acordo entre todos os participantes da rede Blockchain sobre a veracidade dos dados no Blockchain e distribuindo a informação para todos os nós da rede em uma atividade chamada *broadcasting*. O mecanismo de consenso mais conhecido é a prova de trabalho (PoW – *Proof of Work*), em que o computador deve executar um algoritmo matemático complicado e somente após a execução bem-sucedida pelos usuários que estão trabalhando na validação, um novo bloco de dados pode ser gerado na Blockchain. Além dos dados, cada bloco contém um *timestamp*, que guarda a informação cronológica da transação, bem como o valor *hash* do bloco anterior. (TÖNNISSEN; TEUTEBERG, 2020).

Figura 22 - Estrutura do Blockchain.



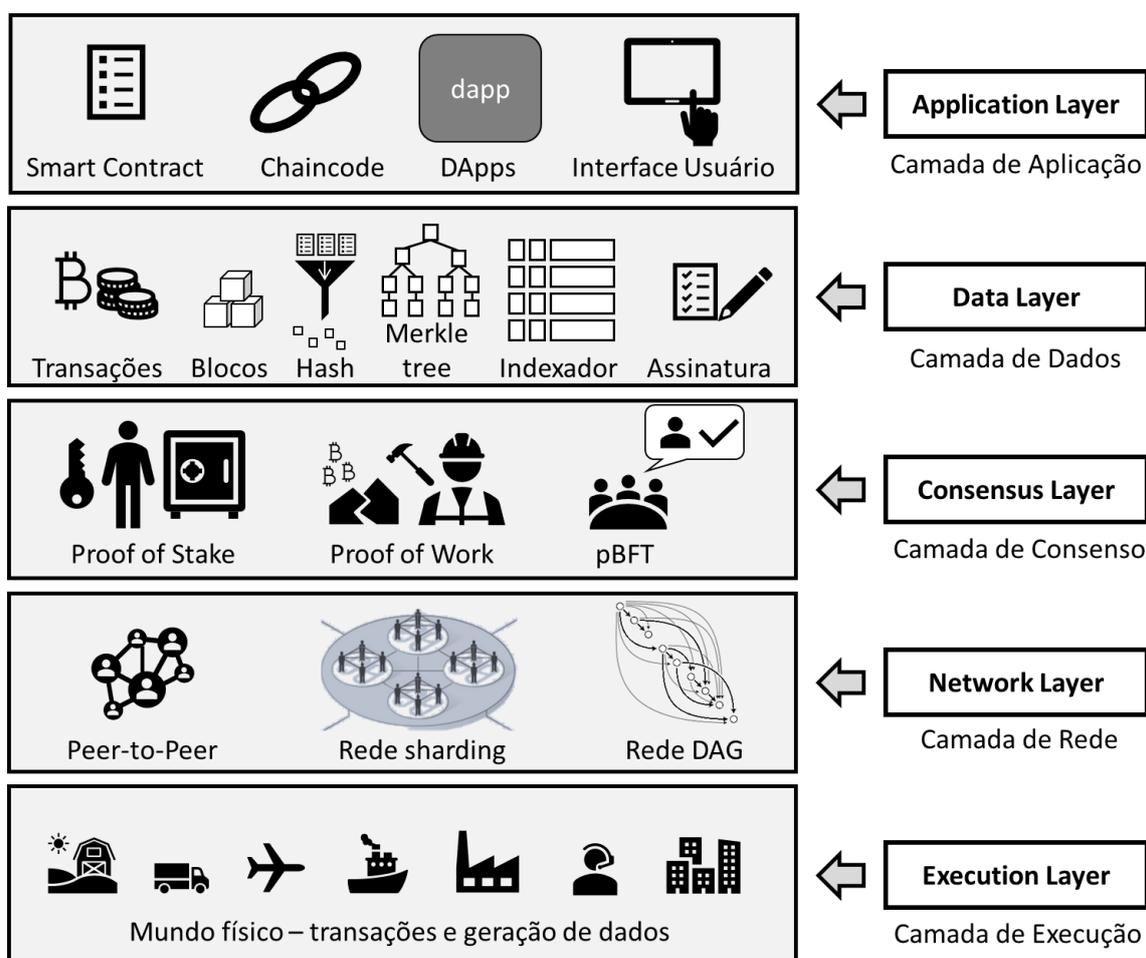
Baseado em (SANKA et.al. 2021)

O protocolo de consenso no Blockchain é um termo geral de acordo ou regras seguidas pelos nós do Blockchain para sincronizar a rede, manter e atualizar os registros do *Ledger*. O protocolo de consenso define e descreve como os novos blocos são criados na rede e geralmente se utiliza a metodologia de problema Bizantino para realizar o consenso. Existem diversos protocolos utilizados como mecanismo de consenso aplicados no Blockchain (SANKA et al., 2021).

O processamento do PoW em redes Blockchain públicas exige alto poder computacional fazendo com que, por exemplo, na rede Bitcoin, apenas um bloco de transações é verificado com sucesso a cada 10 minutos. Uma vez que um minerador resolve o quebra-cabeças criptográfico e os outros usuários da rede concordam com a solução sinalizando como legítimo, o bloco é extraído adicionando-o à cadeia existente de blocos de transação (daí seu nome: o Blockchain). Então a próxima sequência de transações é bloqueada para verificação. Blockchain privados ou permissionados podem usar mecanismos menos intensivos do de mineração de dados para alcançar consenso, por exemplo acordos de votação entre partes conhecidas porque trabalham informações já conhecidas entre os participantes (DE VILLIERS et al., 2021).

De acordo com Uddin et al., (2021), estudos apresentam o Blockchain dividido em diferentes camadas, e as principais propriedades podem ser descritas e explicadas em cinco camadas distintas que relacionam imutabilidade dos dados, segurança e integridade da rede e da informação, ilustrados na Figura 23.

Figura 23 - Estrutura do Blockchain em camadas.



Baseado em (UDDIN et al., 2021).

Application Layer: A camada de aplicação inclui *Smart Contracts*, *Chaincodes* ou código de cadeia, *dApps* que são aplicativos descentralizados e interfaces de usuários. Esta camada compreende duas subcamadas: 1) camada de apresentação e 2) camada de execução. A camada de apresentação inclui scripts, APIs e interface do usuário que são ferramentas utilizadas para conectar a camada de aplicativo com a rede Blockchain. A

camada de execução inclui *Smart Contracts*, *Chaincodes* e regras subjacentes. A camada de apresentação envia instruções para a camada de execução, que executa as transações (UDDIN et al., 2021).

Os *Smart Contracts* são escritos na linguagem Solidity e são executados no mecanismo de máquina virtual Ethereum, chamada de EVM. O compilador produz *bytecode* de *Smart Contract* que roda mais rápido na EVM. O código executado na máquina virtual é isolado da rede ou Blockchain e se refere a um conjunto de lógica de negócios contendo várias funções que são executadas quando uma transação relacionada a uma dessas funções é emitida. O *bytecode* de um contrato inteligente recebe um endereço exclusivo após ser executado na EVM. Uma transação associada a um contrato inteligente pode resultar em uma mudança de estado de um dado ou bloco no Blockchain (UDDIN et al., 2021).

Chaincode: no Hyperledger Fabric, vários *Smart Contracts* relacionados são agrupados em um código *chaincode* similar a um código de cadeia, que é implantado na rede Blockchain. Por exemplo, um aplicativo de uma seguradora precisa implementar a lógica de negócios e necessita refletir vários *Smart Contracts* relacionados às diferentes atividades e regras de atendimento dos seus clientes e entrega dos seus produtos, como protocolos de reclamações, responsabilidade, processamento de sinistros e assim por diante. Cada uma dessas frentes pode ser um *Smart Contract* que juntos constituem um *chaincode*. O *chaincode* faz o empacotamento e implantação de contratos inteligentes, define o esquema de dados do Blockchain, inicia e realiza atualizações nos registros com base no consenso e responde a consultas de dados dos usuários (UDDIN et al., 2021).

DApps: São um tipo de aplicativo da web que é executado em tecnologias *Blockchain* em estruturas distribuídas como Ethereum, Bitcoin e Hyperledger Fabric. O dApp pode interagir com o Blockchain usando um *Smart Contract* ou *chaincode*. Ao contrário de um aplicativo convencional, o dApp não é mais controlado por uma única entidade ou organização, uma vez que é conectado na rede Blockchain (UDDIN et al., 2021).

Data Layer: Essa camada é formada por transações, blocos, função *Hash*, árvore Merkle e assinatura digital. Está conectada diretamente à camada de aplicações e possui um papel importante na estrutura da tecnologia Blockchain. As transações realizadas nessa camada são feitas com base nas premissas de negócios e podem ser compras, vendas, transferências de valores, propriedade ou alteração de status de alguma informação relevante da cadeia.

Blocos de Dados: cada bloco de informação contém conteúdo de várias transações. Possui um campo específico para armazenar a hash do bloco anterior. Como o Blockchain é fundamentalmente uma cadeia de blocos formado em uma estrutura linear, começa com um primeiro bloco chamado de Bloco gênese que não contém hash anterior por ser o primeiro e continua com cada novo bloco confirmado conectando e formando essa sequência de blocos na rede. Cada bloco confirmado na cadeia pode ser rastreado por meio do código *hash* criptográfico e contém registros de transações e um cabeçalho para identificação.

Merkle Tree: trata-se de uma árvore binária estrutura que resume e permite que o conteúdo seja verificado de forma eficiente e segura em um grande conjunto de dados evitando com que cada um dos nós da rede Blockchain tenha que manter uma cópia completa de cada transação que já ocorreu na rede. Uma árvore Merkle resume todas as transações dentro de um bloco gerando uma impressão digital de todas as transações, permitindo que um usuário verifique se uma transação está incluída em um Bloco ou não. Se uma única transação for modificada ou alterada, a raiz da árvore Merkle também será modificada permitindo a identificação imediata da alteração. O campo no cabeçalho do bloco contém a raiz da árvore Merkle que é gerada ao fazer o *hashing* de pares de nós repetidamente até que apenas um *hash* reste e este torna-se o *hash* raiz, ou o raiz da árvore Merkle.

Indexador: o protocolo indexador é responsável por organizar todas as informações no Blockchain e permite aos desenvolvedores de aplicações em plataforma Ethereum a trabalhar e rodar com melhor desempenho em suas aplicações de *front-end* permitindo também um aumento da acessibilidade às aplicações descentralizadas a partir de APIs públicos.

Assinatura Digital: trata de uma abordagem criptográfica para autenticar o conteúdo digital de um documento e garantir sua integridade utilizando um sistema de criptografia de chaves. A criptografia de assinatura digital utiliza-se de uma chave pública e de uma chave privada que estão emparelhadas, mas são assimétricas (não idênticas). A chave pública do par é geralmente compartilhada com as entidades autorizadas na rede e o proprietário da informação tem uma chave privada. Qualquer uma das chaves pode ser aplicada para criptografar uma mensagem; a chave oposta que não foi empregada para criptografar a mensagem dos pares é utilizada para descriptografar essa mensagem garantindo a segurança em envio de mensagens nos dois sentidos.

Consensus Layer: Essa camada trata da aplicação de regras da rede que descrevem o que os nós devem fazer para chegar a um consenso sobre as transações transmitidas. Também lida com a geração e verificação de blocos. em um Blockchain e, nenhum órgão centralizado é comissionado para monitorar a transação ou impedir que invasores manipulem ou alterem dados quando um nó troca dados com o restante da rede, a confiabilidade do bloco deve ser verificada e o fluxo de dados deve ser controlado para garantir o intercâmbio de informações por meio de protocolos de validação conhecidos como algoritmos de consenso.

No Blockchain, um algoritmo de consenso é um método para chegar a um acordo entre vários nós inseguros em um único bloco de dados. Vários mecanismos de consenso da literatura são apresentados como soluções viáveis e são organizados em cinco categorias: Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS), Byzantine Fault Tolerance (BFT), Proof of Authority (PoA) and Proof of Elapsed Time (PoET) (UDDIN et al., 2021).

- **PoW - Proof of Work:** o mecanismo usa computação para o processo de mineração em que alguns dos nós da rede (mineradores) resolvem um quebra-cabeças matemático complexo para qualificar e criar um novo bloco. O mineiro que obtiver o resultado exigido primeiro é o vencedor e recebe pagamento em moedas virtuais. Os mineradores buscam repetidamente resolver o problema e para cada falha se registra um *nonce* no bloco e segue para nova tentativa de criação de Hash. O Bitcoin utiliza esse modelo e busca ajustar o problema para garantir uma velocidade média de gravação de 1 bloco a cada 10 minutos por nó. O PoW protege a rede contra pagamentos duplicados de processamento e ataques de recusa de serviços (DoS). Em caso de duplicação de Blockchain, a cadeia de informação mais longa é escolhida como principal e a menor invalidada (SANKA et al., 2021).
- **PoS - Proof of Stake:** diferentemente do PoW, esse mecanismo não utiliza computação e mineração economizando energia. Nós especiais chamados validadores coletam a informação para a criação de novos blocos, em função do valor de moedas digitais que o nó possui. A vantagem é que os proprietários de grandes volumes de moeda não têm intenção de prejudicar a rede. No entanto, o principal problema com o PoS é o problema do pagamento em vazio, como os validadores não recebem nada ao construir blocos duplicados,

existe a chance de cobrança duplicada na gravação de um dado. Para contornar isso e evitar a centralização do processamento, variantes do PoS, como o DPoS – *Delegated Proof of Stake*, utilizados no Blackcoin e Peercoin, ou combinação do PoS com outras metodologias, por exemplo BFT – Byzantine Fault Tolerance utilizados no Ethereum (SANKA et al., 2021).

- **LPoS – Leased Proof of Stake:** é uma variação do consenso PoS regular, que superar as desvantagens do PoS padrão em relação à limitação de atuação dos mineradores de dados. Cada minerador que possui uma baixa quantidade de aposta pode arrendar ou alugar sua cota de mineração para um nó completo, que aumenta sua chance de se tornar o próximo minerador. As cotas alugadas permanecem no controle total do titular. Se o nó recebedor tem a oportunidade de adicionar um Bloco à rede, recebe pagamento em moeda digital que são compartilhados proporcionalmente entre o nó e a origem da cota. Um usuário Blockchain tem a opção de operar como um nó completo ou alugar sua participação para um nó completo e ser remunerado proporcionalmente. (UDDIN et al., 2021).
- **DPoS – Delegated Proof of Stake:** nessa modalidade, os usuários podem votar nos nós que investem recursos no Sistema Blockchain. A força do voto de um usuário é proporcional ao número de tokens que o usuário possui e permite que um grupo de nós ricos possa dominar a rede e decidir quem será a testemunha. Os nós com um maior número de votos chamados as testemunhas são os responsáveis pela confecção dos Blocos e são pagos pelos seus serviços. No entanto, à medida que a rede se expande, a testemunha precisa competir para permanecer paga que pode ser desqualificada caso tenha desempenho ruim no processamento dos blocos (UDDIN et al., 2021).
- **PBFT Practical Byzantine Fault Tolerance:** é um método de consenso baseado em votação utilizado normalmente em Blockchains consórcio ou privado. É originado do Método Byzantine de Tolerância a Falhas utilizada na solução de problemas gerais e visa chegar a um acordo entre nós em uma rede distribuída, deles falhem em responder ou tragam informações falsas (UDDIN et al., 2021).

O mecanismo BFT pode defender falhas de rede por meio de tomada de decisão coletiva que reduz o impacto dos nós com falhas e trabalha com um volume conhecido de nós dos quais se considera que uma parte pe malicioso e o sistema somente é considerado seguro quando o número de nós malicioso está abaixo de $1/3$ do total de nós dentro da rede (SANKA et al., 2021).

A rede é formada por cadeias primárias, que são as principais onde ocorrerá a inclusão de novos blocos, e redes secundárias, normalmente utilizadas como replicação ou *backup* de informação. A rede primária envia uma informação de preparação contendo o número de identificação da rede do bloco e número do bloco e a rede *backup* responde com aceite para a gravação do bloco. Com o aceite, o *backup* inicia a fase de compromisso em que faz a verificação e validação dos dados e do bloco para gravação do mesmo na rede. A seguir o bloco é aceito por todos os nós da rede e o Blockchain é atualizado (SANKA et al., 2021).

- **Tendermint:** é também um protocolo de consenso baseado em votação com a finalidade de conseguir o consenso sem mineração evitando o gasto de energia em processamento computacional. Nesse protocolo, os blocos novos são criados em rodadas de validação que são compostas de três fases: proposta, votação prévia e compromisso. Busca-se uma votação democrática entre os nós validadores do bloco e cada um confirma ou adiciona sua proposta ao Blockchain para etapa seguinte de validação prévia. Essa proposta é validada se receber $2/3$ de aceite dos validadores que são auditados e punidos em caso de trapaça ou fraude. O pagamento é feito em moedas Tendermint (SANKA et al., 2021).
- **Proof of Elapsed Time (PoET):** nesse tipo de mecanismo de consenso, os participantes do Blockchain devem esperar por um tempo aleatório. O participante que primeiro termina o período de espera é nomeado líder por gravar um novo Bloco de dados. No entanto, um participante pode escolher intencionalmente um curto tempo de espera para ser o vencedor ou o vencedor pode não completar seu tempo de espera. Para resolver esse problema, a Intel implementou Intel Software Guard Extensions (SGX) que permite a execução de uma empresa fornecendo código confiável para um aplicativo em um

ambiente seguro e evita que os participantes manipulem o tempo de espera em PoET a partir de um certificado digital (UDDIN et al., 2021).

- **Proof of Bandwidth:** nesse processo, o minerador é selecionado e recompensado com base na largura de banda que contribui para a rede. No entanto, nós maliciosos podem relatar falsamente suas larguras de banda, fazendo com que seja adotado um esquema padronizado de medição de largura de banda para evitar fraudes no Blockchain. Cada um dos nós de um Blockchain pode avaliar e medir a contribuição de largura de banda uns dos outros para chegar a um consenso preciso sobre a retransmissão de largura de banda. Esta abordagem pode resistir a ataques ocorridos por conluio de nós maliciosos
- **Proof of Authority (PoA):** é um protocolo de consenso que fornece um pequeno e designado grupo de atores no Blockchain com o poder de validar transações. O protocolo PoA alavanca as autoridades confiança, e indica que os validadores de blocos de dados não são obrigados a apostar moedas mas sim sua reputação para o sistema. O PoA é aplicável para Blockchain privado e escalonável, uma vez que o número de nós pré-aprovados validadores é limitado (UDDIN et al., 2021).
- **Proof of Authentication:** busca autenticar os blocos verificando as transações de acordo com o PoW. Na prova de autenticação, um pequeno grupo de nós confiáveis são selecionados para confirmar o bloco de dados e, em seguida, adicioná-lo ao Blockchain. O processo de autenticação envolve duas etapas: verificação da origem do bloco e aumento da reputação de cada nó que executa a autenticação. Após certo número de autenticações inválidas, o nó sofre demérito em reputação dentro da rede (UDDIN et al., 2021).
- **Outros:** existem muitos outros algoritmos de consenso utilizados no Blockchain como por exemplo Raft, Ripple, PoB – *Proof of Burn*, FBFT – *Federated Byzantine Fault Tolerance*, PoP – *Proof of Publication*, PoC – *Proof of Capacity*, PoE – *Proof of Existence*, entre outros (SANKA et al., 2021).

Network Layer: A camada de rede, também conhecida como rede *peer-to-peer*, estabelece a comunicação entre os nós garantindo que todos os usuários possam descobrir e conectar-se uns aos outros para armazenar blocos em toda a rede e sincronizar o estado atual válido do Blockchain. Uma rede *peer-to-peer* é uma rede de computadores distribuída e a carga de trabalho da rede é compartilhada entre vários nós (usuários ou computadores) para atingir o destino final no Blockchain para processamento de transações e blocos (UDDIN et al., 2021).

Existem dois tipos de nós em um Blockchain: o nó completo (*full node*) e o nó leve (*light node*). Nós completos são responsáveis pela garantia da confiança na rede Blockchain e contém o processamento das transações, verificação, mineração e validação antes da gravação dos blocos. Eles são auxiliados pelos nós leves que geralmente são carteiras digitais conectadas diretamente ao nó completo e suportam as atividades desse nó completo até a finalização da transação na gravação do bloco no Blockchain (UDDIN et al., 2021).

Execution Layer: A camada de execução está conectada ao mundo físico e possui as interfaces com IoT para coleta de dados e alimentação das informações a serem incluídas nos blocos de dados do Blockchain. A tecnologia aplicada na coleta de dados deve ser adequada ao tipo de informação e condição da coleta podendo ser diferente em distintas etapas da cadeia de suprimento recebendo informações automáticas e de interações com usuários na cadeia de suprimentos (UDDIN et al., 2021).

O grande diferencial da tecnologia Blockchain é a integração dos conceitos existentes de criptografia com consenso e mecanismos de incentivo entre os participantes da rede. O Blockchain é suportado e protegido por conceitos criptográficos como operações de *hashing*, assinaturas digitais, árvore Merkle e árvore Merkle Patricia. Acumuladores criptográficos, compromissos e provas de zero conhecimento também são usados principalmente para aprimoramentos de privacidade (SANKA et al., 2021).

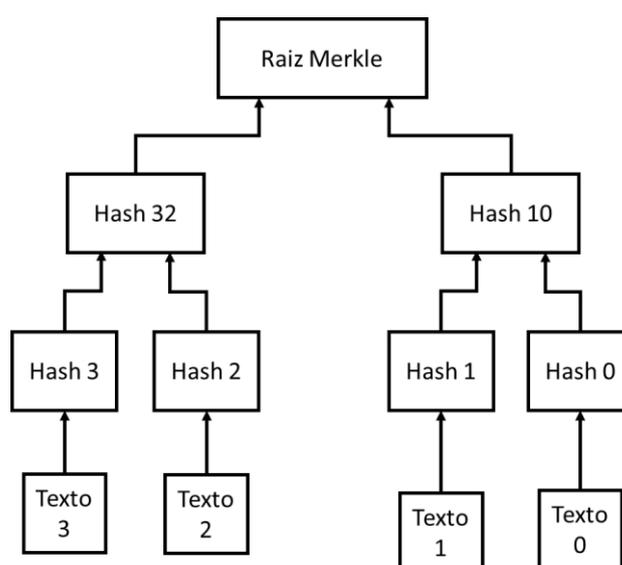
Algumas características inovadoras do Blockchain podem facilitar a gestão da cadeia de suprimentos por exemplo com aumento de velocidade de processamento de transações financeiras e aumento de transparência na cadeia de suprimentos, permitindo monitoramento constante do desempenho da cadeia, transações e recebimento automático de informações por meio de IoT em uma plataforma precisa e estável de dados com dados seguros em tempo real (BUDAK; ÇOBAN, 2021).

Cada bloco no Blockchain contém o hash do bloco anterior para proteção contra violação proteção e integridade de dados. O hash do bloco muda quando os dados do bloco são modificados e o novo hash é diferente do hash armazenado anteriormente formando uma sequência completamente rastreável dentro da rede (SANKA et al., 2021).

A Função *Hash* do Blockchain transforma sequências de informações em uma sequência hexadecimal de comprimento fixo e embaralhada. O sistema de dígitos hexadecimal é uma combinação de caracteres de 0 a F, utilizado geralmente em aplicativos de segurança. As funções *Hash* devem ser livres de colisão (dois *hashes* diferentes de entrada não podem indicar o mesmo *hash* de saída) e possuir propriedade única. Uma pequena alteração na entrada resulta em um *hash* de saída diferente. A propriedade única garante que a entrada não possa ser obtida ou reconstruída a partir do dado de saída (SANKA et al., 2021).

A atividade de hashing é usada no Blockchain para garantir a integridade e segurança do sistema a partir da criação dos endereços dos blocos e das transações, sendo essencial em um mecanismo de consenso tipo PoW e em esquemas de construção de assinatura eletrônica, referenciando a raiz Merkle e o *hash* do bloco respectivamente, como ilustrado na Figura 24 (SANKA et al., 2021).

Figura 24 - Árvore Merkle - Atividade Hashing Blockchain.



Adapado de (SANKA et al., 2021).

A segurança do Blockchain pode ser quebrada se durante a execução de um dos protocolos de consenso for interrompida por uma colisão de hash, por isso são realizados forçadamente no mínimo 2 ensaios buscando identificação de colisão em um *hash*, que caso seja identificado, o hash é marcado com quebrado e desconsiderado do Blockchain. Diversos autores recomendam funções hash específicas que gerem códigos longos garantindo que os testes de colisão não apontem nenhum tipo de problema e que a quebra do Blockchain por colisão seja inviável ou impossível com o esforço computacional atualmente disponível (SANKA et al., 2021).

Em um Blockchain, as transações de cada bloco são representadas por um único *hash* chamado raiz Merkle, que é armazenado no cabeçalho do bloco. A raiz Merkle é o último valor *hash* da árvore Merkle construída a partir da combinação dos hashes das transações em um bloco. O hash da raiz Merkle é resultado da combinação de pares de *hashes* continuamente emparelhados. A modificação de quaisquer dados no conteúdo do bloco será detectada desde a raiz Merkle a partir da geração de um novo *hash*, diferente do anterior que consta armazenado no bloco (SANKA et al., 2021).

No Blockchain Ethereum, cada nó completo armazena o estado global da rede com informações como saldo da conta, preço do GAS (valor cobrado pelos mineradores para realizar uma transação no Blockchain), e o limite de GAS para todas as contas da rede. Ethereum usa estruturas otimizadas de armazenamento e recuperação de dados para garantir a autenticidade da criptografia e o mapeamento das chaves de leitura garantindo a recuperação de dados de maneira eficiente (SANKA et al., 2021).

Os *Smart Contracts* ou Contratos Inteligentes são tecnologias desenvolvidas em sistemas descentralizados chamados *Distributed Ledgers* que podem criar espaço para inovação disruptiva e significativa dos negócios pois são essencialmente pré-programados e executam uma rotina quando condições são satisfeitas. É um sistema de contrato inteligente que pode ser usado para essencialmente descentralizar controles e pagamentos permitindo às organizações um trabalho mais autônomo chegando ao ponto de garantir a governança e administração de negócios inteiros de maneira segura (DE VILLIERS et al., 2021).

Em um *Smart Contract*, todos os pontos e termos podem ser convertidos em códigos computacionais e programação e podem ser armazenados e compartilhados ou replicados em diferentes sistemas de computadores, validados e supervisionados pelos participantes da Blockchain. Eles auxiliam na execução das transações para troca de valores, propriedades, informações e outros conteúdos relevantes em uma relação *peer-to-peer* garantindo a integridade transacional e dos participantes (MIN, 2019).

Os *Smart Contracts* funcionam em um Blockchain, implementar protocolos de consenso e permitir que os participantes cheguem a um consenso com base em regras predefinidas sem necessidade de um usuário confiável terceiro no papel de intermediador. Vários aplicativos para *smart* habilitado para contratos Blockchain têm sido explorados em diferentes domínios, incluindo documentos controle, garantia de entrega, acesso à Internet das Coisas (IoT) controle e autenticação (LU et al., 2021).

Os *Smart Contracts* são programas de computadores que rodam e armazenam dados em uma rede Blockchain e devem facilitar, verificar e reforçar os processos de um contrato entre duas partes. Cada contrato inteligente tem um *hash* relacionado ao contrato e um endereço de contrato que é usado para armazenar e retomar contratos com segurança. A identificação de cada *Smart Contract* é feita por meio de um endereço específico inclui código de script, um saldo de moeda digital e espaço de armazenamento na forma de combinação chave / valor (BAMAKAM et al., 2021).

Uma vez que o *Smart Contract* é criado e executado, ninguém pode alterar o código *hash* do contrato. A formação do contrato é uma das os primeiros passos para iniciar as atividades da cadeia de suprimentos em um ambiente Blockchain pois determina as regras de relação entre os participantes dessa rede podendo evitar conflitos contratuais entre clientes e fornecedores, e também determinam as punições para os parceiros que descumprirem as regras, fazendo com que impasses, fraudes ou falhas deixem de ser um risco de ruptura da cadeia de suprimentos (BAMAKAM et al., 2021).

As propriedades de auto verificação e execução automática de um *Smart Contract* podem melhorar o relacionamento e a execução do acordo entre as partes, acelerar as etapas de conferência e verificação de atividades e processos como recebimento de mercadorias, despachos e condições comerciais, diminuir o risco da cadeia como um todo pela disponibilização da informação e robustez transacional oferecida pela tecnologia e

ainda aumentar a eficiência em todos os parceiros que participam da cadeia de suprimentos (BAMAKAM et al., 2021).

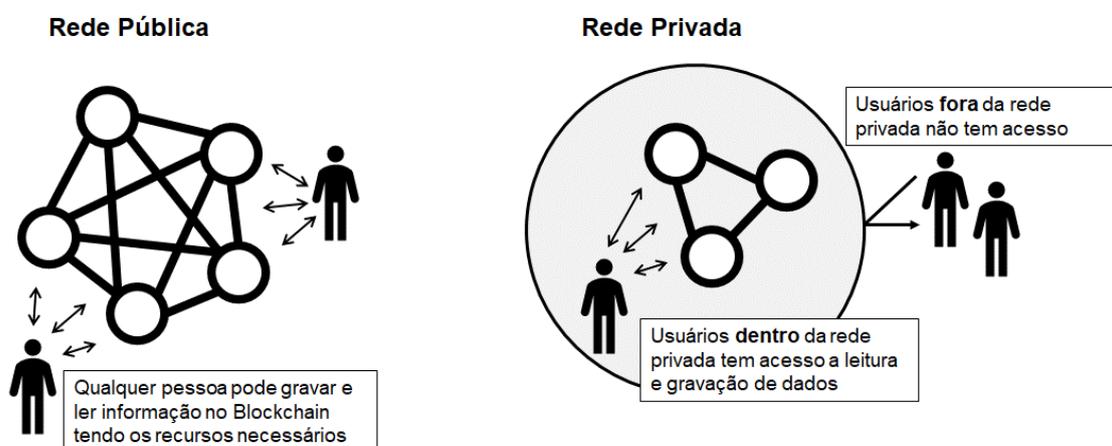
A utilização dos *Smart Contracts* em uma operação baseada em Blockchain facilita e valida as transações executadas na operação determinando limites e penalidades para cada uma das ações e responsabilidades da mesma maneira que um contrato tradicional em papel faz, com a vantagem de fazer isso automaticamente durante a validação dos dados em um Blockchain e o consenso entre os participantes durante o processo de *mining*. Os *Smart Contracts* são auto verificáveis e autoexecutáveis sem depender de uma entidade central aumentando a conformidade com o conteúdo do contrato, mitigando os riscos da operação e aumentando as eficiências entre os participantes da cadeia de suprimentos (MIN, 2019).

2.4.3. Tipos de Blockchain

Os serviços oferecidos que utilizam tecnologia Blockchain na cadeia de suprimentos são divididos em redes públicas e privadas de acordo com o tipo de aplicação e trabalham com usuários permissionados, que podem ter acesso ao ambiente completo ou parcial da rede, dos dados e das interações entre os usuários (TAVARES; IGNÁCIO, 2019).

As redes Blockchain podem ser públicas ou privadas dependendo do tipo de aplicação e dos negócios que estão inseridos no ambiente. As redes públicas, ou abertas, permitem que todas as transações sejam disponibilizadas a todos os usuários que tem acesso à rede sem qualquer tipo de permissão de acesso. As redes privadas ou permissionadas, exigem que os participantes necessitem ser convidados por um controlador ou grupo de membros controladores que definirão níveis diferentes de permissões de acesso para os usuários que podem interagir na rede dentro das permissões do grupo, como ilustrado na Figura 25. (TAVARES; IGNÁCIO, 2019).

Figura 25 - Blockchain pública e privada.



Adaptado de (TAVARES; IGNÁCIO, 2019).

Adicionalmente as redes Blockchain privadas podem ser organizadas em consórcio como um meio termo entre os Blockchains públicos e privados sendo parcialmente centralizados. São usados por organizações independentes que compartilham informações em um ambiente em que a segurança e confiança é um fator crítico e possui participantes pré-selecionados que atuam como validadores, ordenam transações e criam novos blocos. O resto dos nós pode apenas enviar transações, ler e verificar novos blocos. (SANKA et al., 2021).

Do ponto de vista de gestão de rede e permissões fornecidas aos usuários, o Blockchain pode ser visto de forma pública ou privada. As redes públicas permitem que qualquer usuário tecnicamente capacitado possa realizar operações anonimamente em um Blockchain, incluindo transações e contratos que não demandem permissão. As redes privadas, é necessária a validação e níveis de autorização para que o usuário possa realizar as operações. Em ambas o processo é completamente seguro e rastreável. (SUNMOLA, 2021). Os tipos de rede são resumidos no Quadro 8.

O Blockchain elimina a necessidade de intermediação institucional e pessoal na realização de transações comerciais diversas solucionando diversos problemas de confiança resolvendo inclusive problemas de comportamento ético, corrupção, desvios e fraudes dos mais variados tipos (KSHETRI, 2021).

Quadro 8 - Comparação dos tipos de Blockchain. Baseado em (SANKA et al., 2021).

Blockchain	Publica	Privada	Consórcio
Permissão	Livre	Permissionado	Permissionado
Usuários	Desconhecidos	Conhecidos	Conhecidos
Segurança	Muito Forte	Menos Forte	Forte
Centralização	Descentralizado	Centralizado	Parcial
Escalabilidade	Baixa	Alta	Moderada
Eficiência	Baixa	Muito Alta	Alta
Consumo Energia	Depende do Consenso	Muito Baixa	Muito Baixa
Exemplos	Bitcoin, Ethereum	Blockstack, Multichain	Hyperledger, Corda

As plataformas atuais de Blockchain são formadas por uma grande rede de computadores suportando o *Distributed Ledger* que registra e sincroniza todos os usuários na rede, tanto no Blockchain público quanto no Blockchain privado ou permissionado. Um Blockchain público, como Bitcoin ou Ethereum, é totalmente descentralizado e permite a qualquer participante possa acessar os blocos de dados na rede. No Blockchain permissionado, como Hyperledger Fabric, apenas usuários identificados podem validar transações e blocos de dados conforme suas permissões de acesso (LU et al., 2021).

Autores mostram que as práticas atuais do Blockchain na cadeia de abastecimento as arquiteturas existentes foram projetadas em uma estrutura de rede pública, sendo as mais adotadas na cadeia de suprimento Ethereum e Hyperledger. Ethereum é uma plataforma pública adaptável conhecida por sua capacidade de tokenização (utilização de Token) e desenvolvimento de *Smart Contracts*. O Hyperledger é uma plataforma desenvolvida por uma empresa de mesmo nome com as características similares à uma rede privada de Blockchain (IRANNEZHAD et al., 2021).

2.4.4. Aplicações do Blockchain

O desenvolvimento do Blockchain fora da área de finanças foi largamente experimentado por diversas empresas não financeiras ao longo dos últimos anos e conseguiu um destaque notável na cadeia de suprimentos, indústria de energia, alimentos e agricultura. Essas áreas trouxeram exemplos importantes de projetos de implantação da tecnologia Blockchain desenvolvidos com de aplicações IoT que permitiram o retorno financeiro da inovação (KSHETRI, 2021).

O uso de Blockchain está crescendo em várias indústrias por causa de sua singularidade inerente em garantir a integridade da transação em várias entidades podendo ser usado na cadeia de suprimentos para armazenar e compartilhar dados com outras empresas, por exemplo, fornecedores, clientes e prestadores de serviços, ou para comparar os dados recebidos de outros participantes da cadeia de suprimentos para verificação (BUMBLAUSKAS *et al.*, 2020).

Recentemente, uma grande mudança tem sido observada nas aplicações de Blockchain em negócios diversos, principalmente na cadeia de suprimentos relacionadas às cadeias formadas por redes multiagentes que são conjuntamente responsáveis pela aquisição, fabricação e distribuição de um conjunto de produtos em diferentes regiões geográficas fazendo com que a gestão de redes globais de abastecimentos encontrem soluções para os desafios relativos à rastreabilidade, resolução de disputas, segurança de carga, digitalização, conformidade e gerenciamento de *stakeholders* (IRANNEZHAD *et al.*, 2021).

A utilização de criptomoedas como alternativas de investimento tem crescido nos últimos anos por conta do aumento acelerado e exponencial do seu valor nos pontos de troca em diferentes moedas disponíveis. Embora isso não necessariamente reflita o valor real de uma criptomoeda, é inegável a frenesi e o aumento da procura em curto prazo por essa tecnologia que é viabilizada pelo o Blockchain (MIN, 2019).

Além disso, o Blockchain pode favorecer os negócios com diversas vantagens como redução de custos transacionais resultantes de plataformas melhor estruturadas e preservadas que dispensam o envolvimento de entidades terceiras para manutenção e validação, aumento da visibilidade ao longo da cadeia de suprimentos a partir de processamento aberto e descentralizado em que todos os usuários conseguem ver as

informações e melhoria da conectividade entre os parceiros de negócio pela melhoria da integração dos mundos físico e digital. (MIN, 2019).

Diversos modelos e aplicações são apresentados no mundo científico beneficiando-se das características do Blockchain e oferecendo valor à cadeia de suprimentos pelas soluções apresentadas em sua aplicação. A utilização do Blockchain pode ser evidenciada na cadeia de suprimentos alimentícia (*Food Supply Chain*), um dos primeiros segmentos a adotá-la e também em cadeias onde a pirataria e as fraudes podem trazer prejuízos como diamantes e joias, vestuário, calçados, medicamentos, artes e até imagens via internet (TAN; THI, 2020). O Quadro 9 apresenta as principais aplicações do Blockchain.

Quadro 9 - Principais aplicações do Blockchain (MIN, 2019).

Aplicação	Descrição	Exemplo (continua)
Criptomoedas	Existem cerca de 1.200 moedas de criptografia ativas que são utilizadas em transações digitais e comerciais e podem ser convertidas em dinheiro.	Bitcoin, Ethereum, Libra
Smart Contracts	É um conjunto de regras programado e executado por computador entre partes sem a necessidade de intermediário para validação.	DAO, Clause, Namecoin, Agrello
Mercado de Ações	Algumas bolsas estão utilizando Blockchain para efetuar as ações de compra e venda de ações sem custos e interferência de intermediários.	Nasdaq, Coinsetters, Augur, Bitshares, V-chain
Sistemas de Saúde (Healthcare)	Aplicação no gerenciamento de informações de pacientes, inconsistência de dados e histórico de tratamentos.	HealthBank, Gem, Healthchain, MeDShare, FHIRChain, OmniPHR, CoverUS
Seguro	Empresas fortalecem a prevenção de fraudes e constroem interoperabilidade entre diferentes companhias de seguro compartilhando dados de usuários.	Etherisc, Insurwave, MedRec, Everledger, Raikwar
Bancos e Financeiras	Permite a integração de sistemas bancários e execução de diversas transações de pagamento e transferências.	JPM coin, Wells Fargo coin, MonetaGo, Komgo, Studium, Khokha, Ubin

Quadro 9 - Principais aplicações do Blockchain (MIN, 2019).

Aplicação	Descrição	Exemplo (conclusão)
IoT	Atende a necessidade de dispositivos autônomos de comunicação e compartilhamento de dados sem intervenção humana.	IBM ADEPT, Filament, Dorri, GSF, netObjex, Share&Charge
Serviços DNS	O Blockchain é utilizado em DNS garantir a segurança da rede evitando ataques de segurança, censura e mal uso de entidades reguladoras como governos e outras organizações.	Blockstack, Namecoin, EmerDNS, DNSchain, Blockchain-DNS
Armazenamento Descentralizado	Eliminação dos riscos de armazenadores centralizados de dados tradicionais com garantia da gestão completa de dados pelos donos dos dados.	Storj, Gaia, Swarm, Sai, IPFS, SAFA networks
Propriedade Intelectual	Prevenção de dados e documentos forjados pelos sistemas de validação de dados, consenso e impossibilidade de alteração de dados sem rastreamento.	Stampery, Ascribe, block notary, Vaultitude, Vechain, KODAKOne
Votação	Países que buscam garantir votações livres e transparentes em organizações privadas e governamentais.	Bitcongress, AgoraVoting, Siemens Hutten DDO, Kaspersky voting machine
Gerenciamento de Identidade	Criação de passaportes, cartões e certificados de identificação e dados diversos de cidadãos.	Evernym, Verified.me, ID2020, Tykn, Shocard
Cyber Security	Blockchain fortalece a cybersegurança nas redes garantindo informação imutável e segura contra ataques de hackers.	Guardtime KSI, CertCoin, REMME, Gladius, CryptoMove, Hacken, block armor
Registro de Imóveis e Ativos	O Blockchain oferece um ambiente seguro de registro e de transferência de propriedade entre usuários.	Georgia land registry, Codefi Asset, Blockimmo, Meridio, Propy, Imbrex
Supply Chain	Empresas conseguem segurança, transparência, velocidade e redução e custos transacionais garantindo capacidade de interação imediata pela interoperabilidade da rede.	TradeLens, Grainchain, Waltonchain, Mediledger, Walmart, Circulor
Distribuição de Energia	Um ambiente de comercialização de energia na microrede sem necessidade de intervenção e controle de uma autoridade central.	PowerLedger, Verv, Electron, EWF, Grid+, Ondiflo, Enerchain,

Da mesma forma, o Blockchain está sendo utilizado por empresas para identificar e garantir a procedência dos produtos na cadeia de suprimentos, como uma solução de sistema robusto para rastrear a origem, certificar a autenticidade, rastrear a custódia e verificar a integridade dos produtos. Isso é particularmente importante em indústrias, como mineração de diamantes, de produtos de luxo, produtos de alto custo, e alguns serviços como seguros marítimos comerciais que englobam milhares de transações diariamente entre clientes, operadores, transportadores e seguradores (DE VILLIERS *et al.*, 2021).

Essa diversidade em projetos de rede indica que nenhuma arquitetura ainda foi determinada como o projeto de Blockchain mais adequado para aplicação na cadeia de suprimentos. No geral, a escolha de qual plataforma usar depende de vários critérios, como arquitetura do sistema, mecanismo de consenso, segurança e privacidade, escalabilidade e latência, bem como o modelo de governança, que deve ser determinado com base nos requisitos de cada caso, negócio e usuários (IRANNEZHAD *et al.*, 2021).

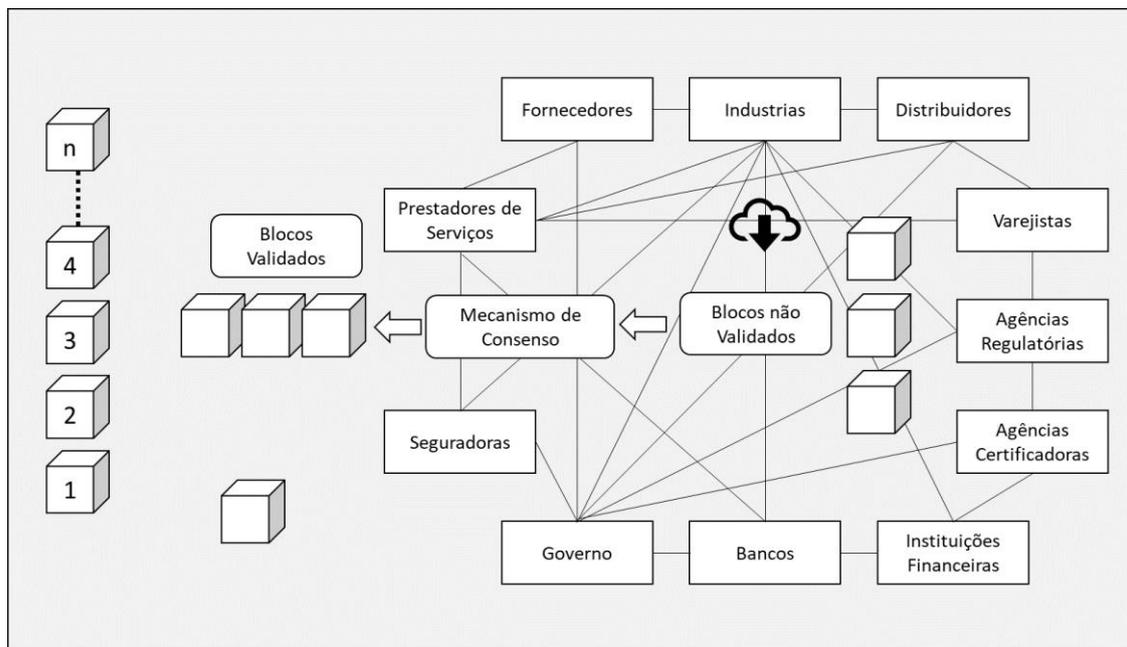
A aplicação de Blockchain na cadeia de suprimentos melhora seu desempenho de maneira sustentável por permitir a execução das transações necessárias reduzindo o número de intermediários, atrasos de pagamentos e eliminação de longos tempos de processamento de documentos diversos, além de oferecer segurança na movimentação dos produtos ao longo da cadeia de suprimentos, trazendo como um dos maiores benefícios de sua aplicação a rastreabilidade, sustentada pela auditabilidade, imutabilidade e procedência (KAMBLE *et al.*, 2019). O Quadro 10 apresenta os principais benefícios do Blockchain em uma cadeia de suprimentos.

Quadro 10 - Benefícios da implantação de Blockchain em uma cadeia de suprimentos. Baseado em (AICH, 2019).

Características	Descrição
Continuidade e rastreabilidade da informação	A imutabilidade dos dados no Blockchain ajuda no compartilhamento das informações entre os parceiros certificando que as mesmas sejam rastreáveis e confiáveis.
Acessibilidade da informação	A transparência é uma característica do Blockchain e permite que os dados estejam disponíveis aos usuários em qualquer ponto da cadeia de suprimentos de maneira segura e confiável.
Conexão da informação	A conexão entre o fluxo da informação e o fluxo físico suportado pela IoT permite o aumento de eficiência dos processos na cadeia de suprimentos de maneira sistêmica.
Diminuição de violações e fraudes	A transparência e auditabilidade do Blockchain permitem uma redução forte nas ocorrências de fraudes e violações de códigos de conduta na cadeia de suprimentos.

Não existe uma entidade controladora no Blockchain e ninguém consegue deletar um bloco da rede de informações, permitindo que os usuários possam transferir entre si bens, incluindo os intangíveis, sem correr o risco de ataques hackers ou construção de silos de dados que possam limitar o acesso e interação entre parceiros de negócios, como ilustrado na figura 26 (MIN, 2019).

Figura 26 - Tecnologia Blockchain em uma cadeia de suprimentos.



Adaptado de (KAMBLE 2019).

Alguns desafios para adoção do Blockchain na cadeia de suprimentos precisam ser superados, como por exemplo o esforço computacional para execução de todos os algoritmos de consenso no registro do alto volume de informações presentes em uma cadeia de suprimentos, volume e estabilidade de energia elétrica para alimentar os computadores, controle de privacidade e cópia indevida de dados que podem ocorrer em redes de grande porte (BUDAK; ÇOBAN, 2021).

No entanto, a execução de contratos na cadeia de suprimentos requer uma troca de dados com o mundo real, que dependem de agentes de middleware ou interfaces para capturar e validar informações do mundo real e alimentá-las no Blockchain para o uso dos *Smart Contracts*. Eles podem ser *software* ou *hardware*, entrada ou saída, ou baseado em consenso. Ações humanas podem servir como fontes de entrada de dados, porém, estão sujeitas a interrupções e erros fazendo com que a automação de coleta de dados seja mais adequada (LU et al., 2021).

A visibilidade de uma cadeia de suprimentos pode ser estendida com informações precisas e confiáveis considerando todos os elos da operação, trazendo diversos benefícios relacionados a (I) maior nível de responsabilidade às necessidades do mercado consumidor

(II) mitigação dos riscos de interrupção do fluxo de materiais e produtos ao longo da cadeia de suprimentos e (III) construção de vantagem competitiva atingindo os principais fatores de competitividade estratégica e sustentabilidade do negócio (SUNMOLA, 2021).

A aplicação de Blockchain integra funções de negócio e novos limites para um trabalho extensivo entre parceiros de negócios que tocam a vulnerabilidade das cadeias de suprimento e necessitam de desenvolvimento de atividades de controle de risco que tende a aumentar conforme o número de participantes e de interações aumenta (MIN, 2019).

O Blockchain atende os desafios existentes em modelos de negócio em que exigem melhor nível de confiabilidade, sendo muito indicado para economias emergentes e colabora com o aumento da transparência entre os participantes de uma cadeia de suprimentos atendendo aos anseios do mercado consumidor (KSHETRI, 2021).

Um dos principais eventos que acionam a cadeia de suprimentos é a criação de contratos entre os participantes da cadeia. Podem também ser utilizados como ferramenta de defesa em caso de fraudes, mal-entendidos, acordos de desempenho e falhas entre os parceiros comerciais, casos de ruptura da cadeia de suprimentos e responsabilidades e limites para correção do problema. O desenvolvimento dessa ideia no mundo digital nos traz ao conceito de *Smart Contract* que é a criação de um algoritmo ou protocolo computacional que contém as regras e obrigações do negócio reforçando a execução das obrigações contratuais entre as partes (MIN, 2019).

A tecnologia Blockchain ganhou importância na cadeia de suprimentos oferecendo transparência, robustez e eliminação de intermediários nas transações. Diversos impactos positivos são esperados com a integração do Blockchain em processos da cadeia de suprimentos fortalecendo ainda mais a adoção dessa tecnologia pela cadeia de suprimentos (BUDAK; ÇOBAN, 2021).

A adoção e configuração de Blockchain na cadeia de suprimentos traz diversos benefícios relacionados às características dessa tecnologia e com a digitalização do fluxo de informações sobre produtos e processos na cadeia de valor impactando diretamente sobre a velocidade das transações e comunicação entre os parceiros da cadeia de suprimentos que passa a ser quase sempre em tempo real, refletindo em menores custos transacionais cada vez maiores quanto mais complexa e longa a cadeia de suprimentos e

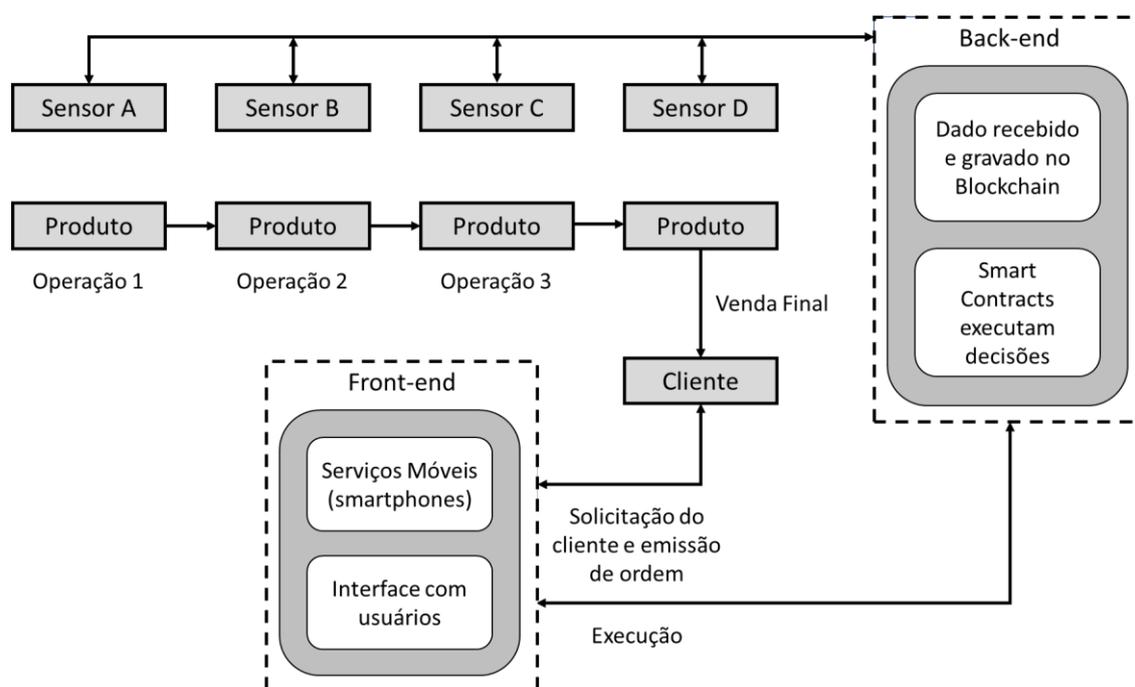
também impactando na visibilidade e rastreabilidade dos produtos movimentados na mesma cadeia (MAESA; MORI, 2020).

Em operações logísticas, atividades de recebimento em tempo adequado e quantidades corretas é uma das prioridades em qualquer operação. A Adoção de Blockchain faz possível uma coordenação eficaz entre prestadores de serviço terceiros, empresas de transporte e várias camadas dos fornecedores. Este processo de coordenação pode ter elevado grau de excelência a partir de uma combinação de IoT e Blockchain, fazendo com que sensores IoT inteligentes e vários dispositivos inteligentes que possam rastrear e identificar a localização das peças, quantidade e outras informações úteis em tempo real garantindo eficiência na operação física de recebimento (AICH, 2019).

Esta melhoria de eficiência sistêmica permite uma melhoria generalizada no fluxo de materiais, informações e gestão. O rastreamento e monitoramento das mercadorias também é impactado e reflete aos fornecedores e demais elos da cadeia de suprimentos, colaborando para melhorias em fluxo de informações e pedidos, reduções de estoque em diferentes partes, maior visibilidade e rastreamento das mercadorias e redução no custo logístico total pela eliminação de falhas e erros acumulados no processo de transformação do produto até o consumidor final (AICH, 2019).

Nas operações de expedição de produtos, por outro lado, é extremamente necessária uma boa coordenação da logística de transportes para uma distribuição eficiente. Isso pode ser efetivamente alcançado pelo uso do sistema Blockchain integrado a IoT, que, a partir de sensores e dispositivos inteligentes pode rastrear a localização dos veículos e outras informações úteis no tempo real permitindo estratégias mais agressivas na logística como implementação de just-in-time, redução de avarias e falhas de entrega, perdas de processo e outros fatores que impactam na redução de custo operacional. (AICH, 2019).

Figura 27 - Estrutura de Blockchain em uma cadeia de suprimentos.



Adaptado de (DE VILLIERS et al., 2021).

A arquitetura de sistemas para integração de Blockchain em uma rede Ethereum possui uma série de sensores e pontos de coleta de informações em uma cadeia de suprimentos física, ilustrando como uma rede Blockchain é usada para transmitir com precisão os dados dos produtos e operações do "back-end" para o "front-end" que é onde os usuários interagem com o sistema (DE VILLIERS et al., 2021).

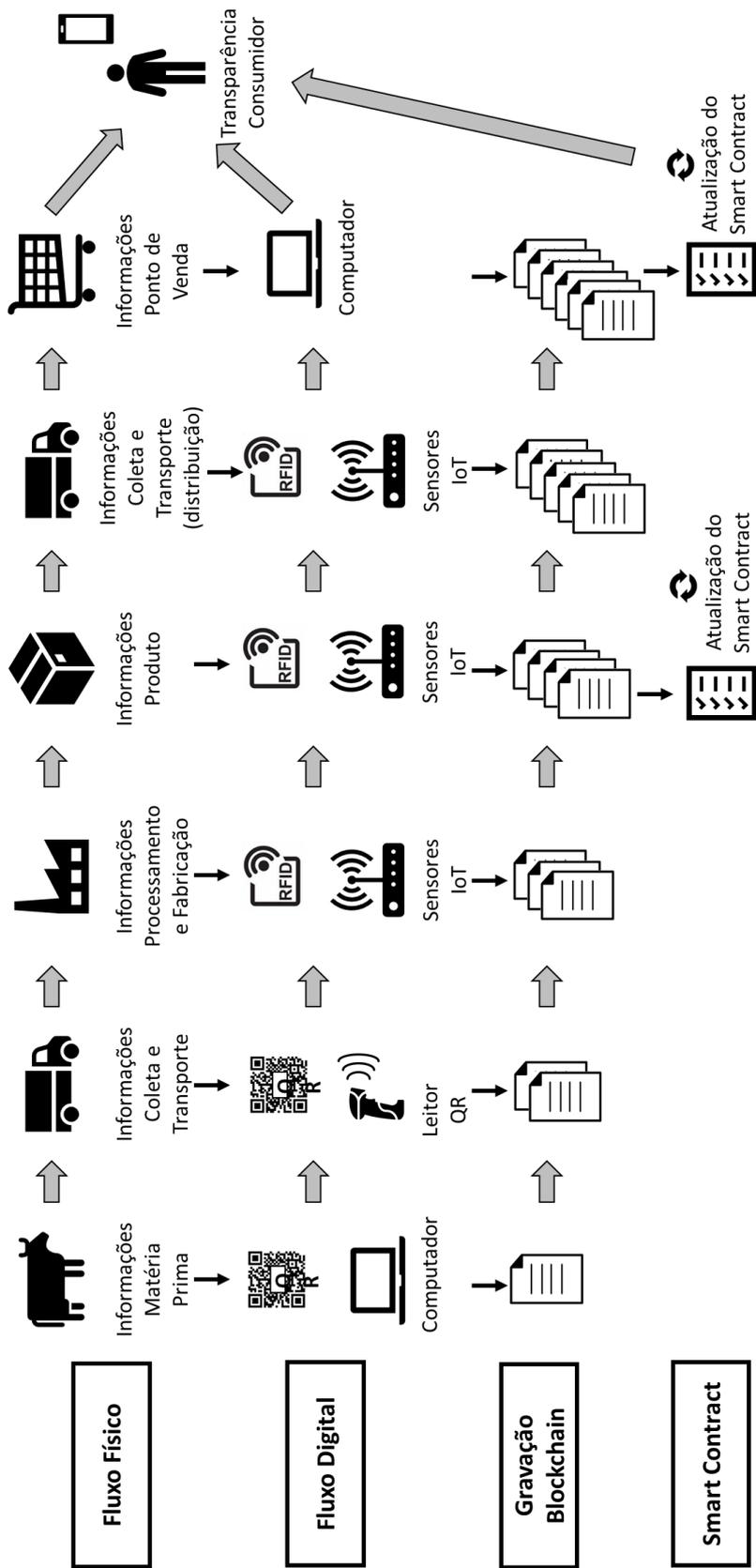
Cada vez que uma nova remessa de produtos é solicitada por um usuário, um *Smart Contract* é criado para garantir a conformidade da remessa com os requisitos de cada um dos produtos, por exemplo, de temperatura de um medicamento que, nesse caso, sensores IoT, por meio de comunicações Bluetooth ou internet móvel, monitoram e comunicam a temperatura da embalagem do armazém ao destino final. O *back-end* reconcilia esta temperatura com informações e identidades de usuário para garantir rastreabilidade e verificabilidade do processo, muito semelhante ao rastreamento de encomendas em um serviço de correio. Cada medicamento tem seus próprios requisitos de temperatura e o sistema automaticamente calibra os sensores IoT e emite contratos inteligentes de acordo (DE VILLIERS et al., 2021).

Dentre todas as áreas que se transformaram com a adoção da tecnologia Blockchain pode-se destacar principalmente a cadeia de suprimentos pela grande correlação de dependência entre o desenvolvimento das tecnologias de IoT que afetam diretamente a gestão da cadeia de suprimentos. As tecnologias de IoT permitem que produtos, containers e veículos diversos possam ser monitorados e interajam com os sistemas em tempo real possibilitando o monitoramento dos produtos desde o ponto de origem garantindo a autenticidade das coletas de informações pelos dispositivos IoT (KSHETRI, 2021).

Segundo Tan; Thi, (2020) um sistema de rastreabilidade de produtos Adaptado de tecnologia Blockchain deve ser composto além da própria tecnologia, de outros sistemas complementares como IoT para aquisição dos dados, tecnologia de identificação como sensores, códigos QR ou RFID, e utilização de *Smart Contracts*.

O fluxo se inicia com a coleta de informações de matéria prima com a identificação dos sistemas produtores a partir da instalação de um código QR por exemplo em um animal ou em um produto extraído da natureza (Figura 28). A sequência dos processos de extração da matéria prima, dados de qualidade e informações gerais dos produtos começam a ser gravadas a partir de entradas por computador e os registros mais básicos são formados. As informações necessárias já foram parametrizadas no dimensionamento e na criação do sistema de rastreamento (TAN; THI, 2020).

Figura 28 - Arquitetura de um sistema de rastreabilidade de produtos com Blockchain.



Adaptado de (TAN;THI., 2020).

A etapa posterior de transporte possui informações antecipadas sobre o material a ser coletado e conseguem verificar no momento do carregamento do veículo se os produtos estão realmente corretos com base nos dados ingressados no sistema na etapa anterior. Os dados do transportador, motorista, manuseio e rotas podem ser incluídos no registro, assim como informações da empresa que está recebendo. Informações da carga, condições do veículo e da viagem podem também ser coletados e adicionados à base de dados (TAN;THI, 2020).

Na fábrica existe a etapa de processamento do produto entregue e o fracionamento pode ocorrer nesse momento por conta do processo produtivo. Todas as fases do processo podem ser gravadas em cada um dos produtos de maneira manual ou automática a partir de aplicação de IoT durante o processo de transformação. A integração com sistemas de gerenciamento de armazenagem (WMS) e sistemas de informação empresarial (ERP) auxiliam na conexão das próximas etapas, na padronização da informação, na disponibilização do conteúdo a ser gravado no Blockchain (TAN; THI, 2020).

O estágio de distribuição seguirá um processo parecido com o estágio de transporte da matéria prima para a fábrica considerando o detalhamento da informação movimentando produtos identificados com lotes de produção. A utilização de *Smart Contracts* a partir desse ponto pode auxiliar nas transações diárias de abastecimento do mercado e permitir a liberação das transações sem interferência humana. Os contratos possuem todos os dados relacionados aos participantes da cadeia que devem interagir na operação, cada um com suas responsabilidades e informações de entrada esperados para execução da liberação. Adicionalmente, condições dos produtos, especificações mínimas de qualidade e outros fatores inerentes ao transporte podem ser adicionados como exigências para aceite da operação (TAN; THI, 2020).

Nos pontos de distribuição e revenda os consumidores podem ter acesso a todo o trajeto e interferências que cada um dos produtos sofreu na cadeia de abastecimento acessando através de um dispositivo que está conectado a uma interface para usuários. O acesso garante que ele possa consultar para o produto que está em suas mãos as informações relevantes que garantem confiabilidade e transparência desde a extração das matérias primas até o final da cadeia após o processo de abastecimento (TAN; THI, 2020).

Os gestores das cadeias de suprimento não possuem um modelo de decisão formado que permita uma avaliação precisa dos atributos, benefícios e pontos chave para

decisão de implantação de Blockchain em suas cadeias. Por tratar-se de uma tecnologia nova, é essencial que esses gestores entendam os pontos chave de decisão e a relação da tecnologia com cada um dos participantes da cadeia, e sua inter-relação para decidir pela adoção da tecnologia (KAMBLE *et al.*, 2019).

Existe uma série de casos de uso importantes de Blockchain na cadeia de abastecimento, incluindo soluções como rastreabilidade do produto, a segurança da Internet das Coisas Industrial (IIoT), digitalização, melhorias na sustentabilidade dos negócios, registros de terminação de produto gestão de ciclo de vida, e logística reversa, outros assuntos como *compliance* e construção de ambiente de confiança entre os parceiros da cadeia de suprimentos (IRANNEZHAD *et al.*, 2021). Os principais valores entregues pelo Blockchain em uma cadeia de suprimentos são apresentados no Quadro 11.

A aplicação de Blockchain na cadeia de suprimentos e comercio internacional é observada em diversas soluções comerciais em redes permissionadas, fornecendo segurança, transparência, velocidade e redução de custos de operação garantindo uma melhor capacidade de monitoramento e rastreamento de cargas e operações diversas, alterações de rota ou procedimento e eliminando a possibilidade de atos maldosos de autoridades regulatórias que possam querer interferir no processo (SANKA *et al.*, 2021).

A gestão da informação na cadeia de suprimentos se passa de maneira mais rápida e eficiente com a aplicação do Blockchain sem o risco de perda de dados ou informações por problemas de armazenagem de dados. Soluções comerciais oferecidas por transportadores e operadores logísticos internacionais podem combinar a rastreabilidade das informações tradicionais com meios de pagamento e liberação de documentação aduaneira e de controle de órgãos regulatórios sem interferência ou dependência de entidades controladoras centrais (SANKA *et al.*, 2021).

As características e benefícios do Blockchain auxiliam no desenvolvimento de maiores níveis de desempenho na cadeia de suprimentos especialmente em cenários complexos com redes de parceiros internacionais e em múltiplos setores permitindo que cada um dos fornecedores participe dos processos da cadeia de suprimentos transmitindo e recebendo informações compartilhadas em uma rede de dados global e descentralizada em tempo real e com segurança garantindo vantagem competitiva, transparência nos processos e informações (ASLAM *et al.*, 2021).

Quadro 11 - Valores criados nas organizações pelo Blockchain (SANKA et al., 2021).

Valor	Descrição
Rastreabilidade	O Blockchain fornece um registro robusto de todos os dados coletados na cadeia de suprimentos, que é visível para as partes interessadas envolvidas e permissionadas. Esse nível de transparência permite o rastreamento em tempo real de ativos, produtos e processos em toda a cadeia de suprimentos podendo resolver problemas de rastreabilidade, autenticação do produto, e auditoria de todas as atividades.
Solução de Disputas	A natureza à prova de violação do Blockchain garante que todas os participantes sejam responsabilizados por suas ações. Os <i>Smart Contracts</i> contendo acordos, pagamentos e transferências predefinidos podem ser executados automaticamente junto com penalidades no caso em que tais termos tenham sido violados por um dos participantes. Assim, as disputas da cadeia de suprimentos podem ser resolvidas rapidamente com eficiência transacional independentemente de negociações.
Segurança da Carga	A segurança surge na conexão do mundo físico e cibernético, onde documentos digitais são adulterados para permitir a transferência não autorizada de carga. Nesse caso, o Blockchain pode reforçar a segurança cibernética, fornecendo aos participantes da cadeia de suprimentos identidades exclusivas que podem ser usadas para rastrear as transferências de propriedade combinando com criptografia e reduz a vulnerabilidade de registros digitais de hackers.
Digitalização	O Blockchain pode resolver o problema de excesso de papeis em atividades como comércio internacional e transações diversas fornecendo um livro razão digital que é compartilhado por todos os parceiros. Além disso, com a implementação de contratos inteligentes, as transações podem ser validadas automaticamente e sem intervenção humana, o que pode economizar tempo e custos em toda a cadeia de suprimentos.
Compliance	A conformidade das cadeias de suprimentos globais pode ser garantida pela natureza distribuída do Blockchain que mantém visíveis a todos os participantes regulamentações e requisitos que podem ser monitorados em tempo real uma vez integrado à IoT. Adicionalmente, a imutabilidade do Blockchain garante que os dados à prova de violação estejam disponíveis para os auditores.
Gestão dos Stakeholders	A estrutura distribuída e imutável que do Blockchain garante acesso de dados diversos da cadeia de suprimentos aos Stakeholders, facilitando a avaliação de desempenho e favorecendo o processo de localização de novos parceiros comerciais baseado em registros precisos de identidade e reputação de maneira segura e honesta. Adicionalmente, o mecanismo de consenso fornece aos parceiros da cadeia de suprimentos possibilidades de contornar situações de baixa confiança.

O Blockchain facilita a medição válida e eficaz de resultados e desempenho dos principais processos da cadeia de suprimentos, uma vez que as entradas de dados de rastreamento estão gravadas em um *Ledger* do Blockchain que são imutáveis. Outros fornecedores na cadeia também podem rastrear remessas, entregas e progresso de algumas atividades gerando um ambiente de confiança. A eliminação dos intermediários na auditoria e validação das transações aumenta a eficiência e reduz os custos (KSHETRI, 2021). O Quadro 12 destaca os principais benefícios no uso da tecnologia Blockchain.

Quadro 12 – Principais Benefícios do Blockchain - (AICH, 2019).

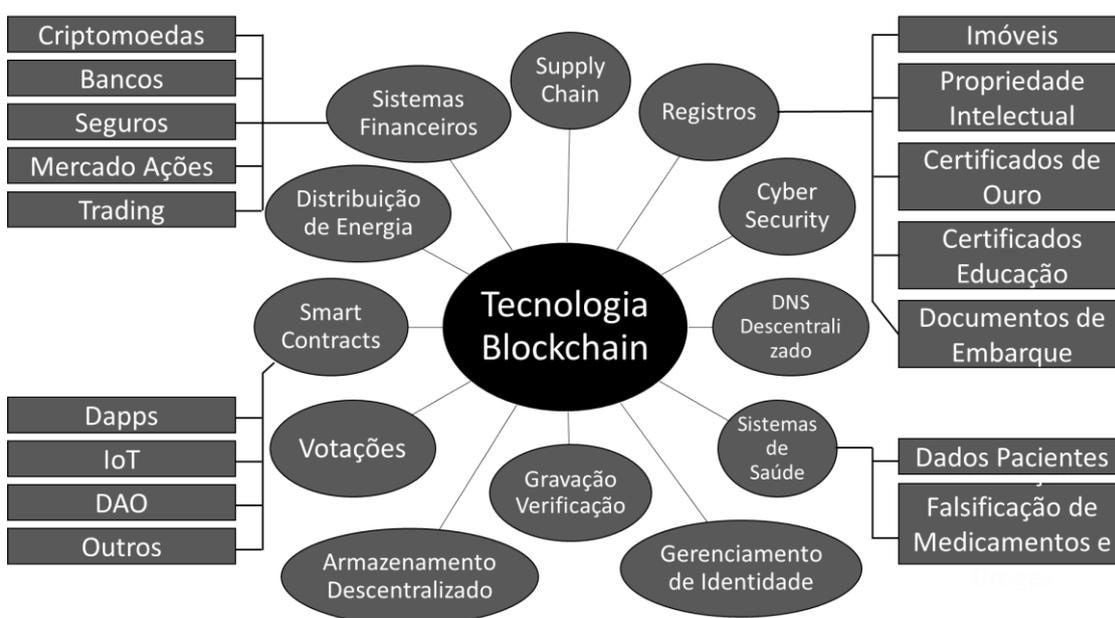
Benefício	Descrição
Aumento de Transparência	A armazenagem de dados imutáveis na rede aumenta a possibilidade de rastreabilidade dos produtos e fortalece a confiança entre as partes garantindo o cumprimento de regras e padrões de <i>compliance</i> refletindo na reputação geral e imagem pública da rede.
Auditabilidade Facilitada	Qualquer terceiro pode ter acesso à vida rastreável de um produto no Blockchain e verificar a coerência entre processos e regulamentações sem grandes gastos de investigação comuns dos meios tradicionais.
Custos Menores de Gerenciamento e Verificação	Verificação e manutenção da rastreabilidade de produtos em um Blockchain é muito menos custoso quando comparado com modelos tradicionais de gerenciamento baseados em sistemas isolados e processos manuais, refletindo em agilidade e custos reduzidos para grandes companhias que não necessitam mais de auditores independentes.
Aumento de Velocidade de Gestão e Verificação	Os eventos gravados no Blockchain podem ser executados e monitorados em tempo real acelerando tanto a gravação ou verificação das atividades nas operações. A adoção de Blockchain elimina intermediários e verificadores dos processos operacionais e consegue a partir dos <i>Smart Contracts</i> aumentar substancialmente a velocidade de execução de operações repetíveis.

A aplicação de Blockchain na cadeia de suprimentos reduz o risco de que as empresas sejam envolvidas intencionalmente ou sem intenções em situações duvidosas, ilegais ou não sustentáveis a partir da criação de transparência entre os participantes e interessados na cadeia de suprimentos. Os aspectos do Blockchain que envolvem a segurança da informação e compartilhamento dos dados inseridos na rede garantem

transparência mesmo em ambientes mais complexos com maior número de parceiros globais (DIETRICH *et al.*, 2021).

Nesse sentido, a aplicação da tecnologia Blockchain vai muito além do mercado financeiro, cujo primeiro caso de sucesso foi o Bitcoin. Existem diferentes negócios e aplicações comerciais em que são criados ambientes seguros e descentralizado oferecendo aos usuários todos os benefícios intrínsecos do Blockchain em seus negócios (SANKA *et al.*, 2021). A figura 29 ilustra algumas das aplicações da tecnologia Blockchain.

Figura 29 - Aplicação do Blockchain.



Adaptado de (SANKA *et al.*, 2021).

O sucesso de uma adoção de Blockchain depende da avaliação de cada um dos fatores envolvidos na digitalização da cadeia de suprimentos e como estão relacionados entre si para garantir a interoperabilidade dos sistemas, fluxo das informações e engajamento dos participantes com coleta de todos os benefícios disponibilizados pela tecnologia (BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2021).

O desenvolvimento de um processo de preparação dos fatores motivacionais de adoção do Blockchain, engajamento, preparação e adequação de tecnologia e infraestrutura são importantes para garantir que todos os participantes tenham sucesso e

efetividade na adoção do Blockchain garantindo as questões de segurança e *compliance*, inovação, privacidade e confiança e infraestrutura de suporte para manutenção de todos os sistemas conectados conforme mostrado no Quadro 13 (BALASUBRAMANIAN et al., 2021).

Quadro 13 - Adoção de Blockchain por Diferentes Entidades (BALASUBRAMANIAN et al., 2021).

Participante	Detalhe
Governo	Entidade importante cuja participação pode ser de diversas formas: implementação de redes Blockchain públicas para promover eficiência, segurança e transparência operacional; encorajar outros participantes adotar Blockchain a partir da criação de leis amigáveis de fomentação; ou promovendo linhas de financiamento e isenções de taxa aos adotantes.
Empresas e entidades privadas	É uma rede complexa de participantes que podem ter diferentes níveis de envolvimento com a tecnologia Blockchain limitando a atuação e velocidade de adequação. Em uma cadeia de suprimentos complexa, é possível que essas empresas criem sua própria rede privada ou acessem uma outra rede privada como participante permissionado.
Provedores de solução Blockchain	São empresas como Microsoft, IBM, Amazon, consórcios diversos como R3 que fornecem ferramentas e estrutura para implantação de soluções em Blockchain. A competição entre eles tem ajudado o desenvolvimento da tecnologia e a facilitado a adoção por diversas entidades no mundo.
Consumidores e usuários	A adoção do Blockchain está relacionada ao reconhecimento dos benefícios tangíveis para sua operação e abertura para mudanças. Muitas vezes o cliente precisa decidir em disponibilizar seus dados em troca de um produto ou serviço.

2.5. Considerações Finais Sobre a Fundamentação Teórica

Os serviços de logística dentro de uma cadeia de suprimentos muitas vezes desempenham um papel fundamental na capacidade de uma empresa de entregar valor do cliente. Entre os principais objetivos de uma logística eficaz na gestão da cadeia de suprimentos está a obtenção do produto nas condições certas, em tempo hábil e no nível mais baixo custos possíveis. Medição do desempenho na gestão da cadeia de suprimentos

é frequentemente descrito em termos de objetivos, como qualidade, velocidade, confiabilidade, custo e flexibilidade (KSHETRI, 2021).

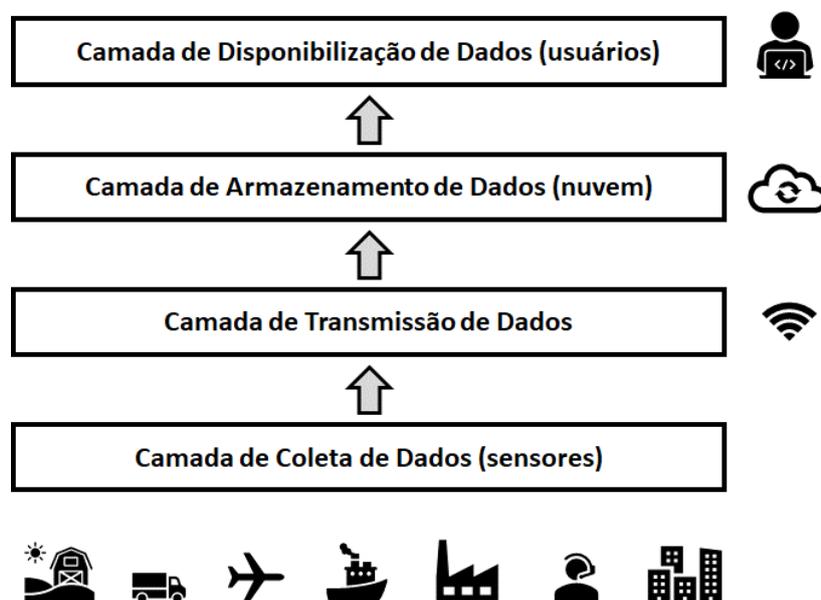
Muitos fatores de sucesso na cadeia de suprimentos estão relacionados à criação de relacionamento entre clientes, fornecedores, fabricantes, empregados e a comunidade. Essa rede interconectada depende de trocas de informações eficientes para garantir o engajamento dos participantes na construção de uma rede robusta em múltiplos níveis organizacionais (BHUTTA *et al.*, 2021). Esses fatores críticos também se relacionam nas atividades de monitoramento e rastreabilidade de produtos, enfrentando como principais desafios a limitação no compartilhamento de informações de maneira confiável e segura entre os componentes da cadeia de suprimentos (KAMBLE *et al.*, 2019).

Os desafios dos sistemas de rastreabilidade de produtos na cadeia de suprimentos é cada vez maior devido à heterogeneidade das plataformas e tecnologias disponíveis para monitoramento e registro de informações em tempo real. O surgimento da Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem (CC) permite uma nova abordagem permitindo a coleta, transferência, armazenamento e compartilhamento da informação dentro do fluxo logístico da cadeia de suprimentos e uma melhor colaboração e interoperabilidade entre os sistemas e participantes da cadeia de suprimentos (GNIMPIEBA *et al.*, 2015).

O surgimento da Internet das Coisas (IoT) permite a criação de diferentes arquiteturas métodos e sistemas que contribuam para o avanço dos processos de rastreabilidade da cadeia de suprimentos, garantindo visibilidade dos produtos a partir da aplicação de diferentes tecnologias como sensores eletrônicos de coleta de informações e RFID em canais distintos que disponibilizam as informações necessárias para a rastreabilidade dos produtos nas operações (MUSA *et al.*, 2014).

Uma arquitetura agrega valor aos usuários quando provê a integração de camadas diferentes de IoT, desde a coleta de dados a partir de sensores, transmissão das informações nos diferentes pontos da cadeia de suprimentos, armazenamento na nuvem e disponibilização para os usuários de maneira controlada facilitando o compartilhamento da informação durante o fluxo logístico facilitando a rastreabilidade, colaboração e interoperabilidade entre os diferentes participantes da cadeia de suprimentos conforme mostrado na Figura 30 (GNIMPIEBA *et al.*, 2015).

Figura 30 - Estrutura de uma arquitetura de rastreabilidade baseada em nuvem.

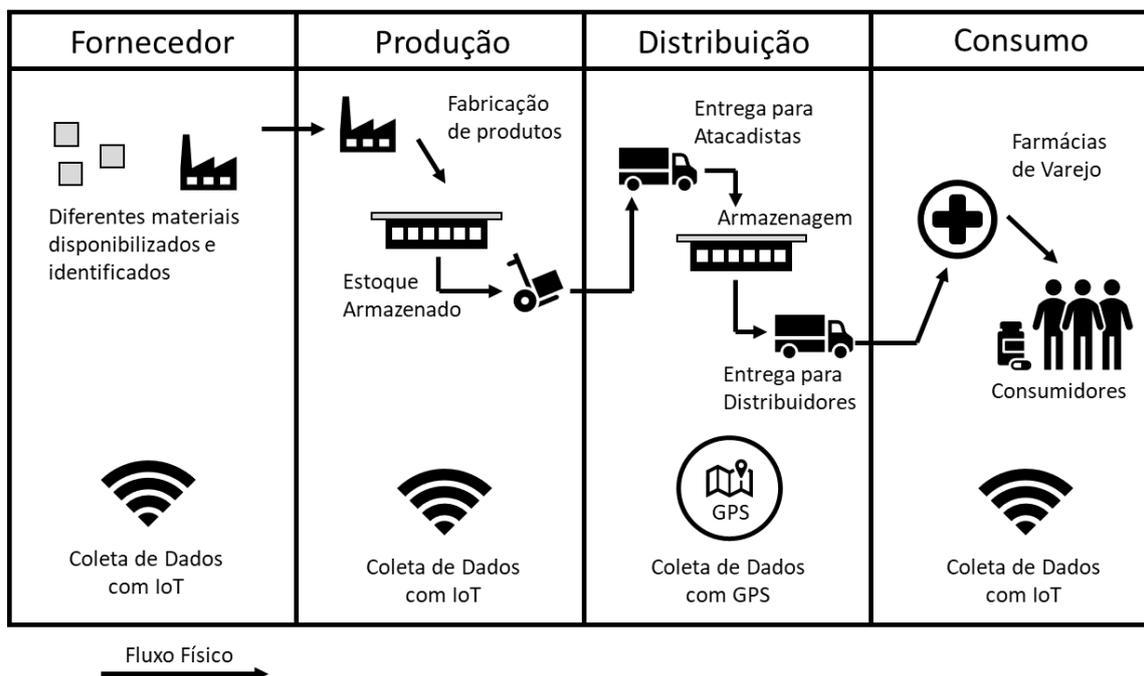


Adaptado de (GNIMPIEBA et al., 2015).

Outras tecnologias como EDI – Troca Eletrônica de Dados, XML – Linguagem de Marcação, API – Interfaces de Aplicação e Programação (MIN, 2019) por exemplo, foram integradas ao Blockchain para melhorar a eficiência dos sistemas de rastreamento de produtos. O Blockchain é uma plataforma que grava informações de maneira segura e por isso depende de sistemas confiáveis de levantamento e disponibilização de informação para alimentação da plataforma, o que tem aumentado a relação da tecnologia com IoT – internet das coisas (TAN; THI, 2020).

Neste cenário, os princípios do Blockchain podem ser utilizados para proteger os dados e processá-los na rede descentralizada identificando lacunas e sugerindo pontos para corrigir possíveis pontos de falha a partir do desenvolvimento e aplicação de inteligência nos diferentes nós de uma cadeia de suprimentos conforme observa-se na Figura 31 (BOTCHA et al., 2019).

Figura 31 - Cadeia de suprimentos farmacêutica



(Baseado em BOTCHA et al., 2019).

A cadeia de suprimentos farmacêutica tradicional pode ser dividida em quatro blocos conforme ilustrado na Figura 31 sendo o primeiro bloco o fornecedor, cujas informações de processamento de conteúdo dos produtos podem ser coletadas. Segue-se, o módulo de produção que pode trazer informações do processo de fabricação e receitas combinadas com os conteúdos do fornecedor. O próximo bloco está relacionado ao primeiro nível de distribuição em que múltiplos agentes podem fornecer informações sobre as entregas e envios de produtos, quantidades e informações comerciais. O último bloco é o do consumo que permite coleta de informações sobre o mercado consumidor e relacionamento usuário – produto (BOTCHA et al., 2019).

Adicionalmente, em uma cadeia de suprimentos farmacêutica, além da necessidade de execução de boas práticas de fabricação controladas pelas agências regulatórias dos países nos processos de manufatura, que criam a necessidade de coleta e armazenamento de dados dos processos de produção, qualidade e formulação identificados no Quadro 14, é importante garantir que os processos logísticos de transporte, armazenagem e distribuição sigam as boas práticas de distribuição também acompanhadas e regulamentadas pelas mesmas agências. Nesse ponto, informações como

dados de transporte, armazenagem, e distribuição sejam monitorados e controlados, garantindo ao usuário que o produto comprado esteve em toda a cadeia dentro das especificações necessárias e atendendo as boas práticas de distribuição (BAMAKAN et al., 2021).

Quadro 14 - Variáveis transacionais de uma operação farmacêutica - (BOTCHA et al., 2019).

Fornecedor	Produção	Distribuição	Consumo
ID Fornecedor	Fábrica	ID Distribuidor	ID Consumidor
Dados da Transação	<i>Versão</i>	<i>Versão</i>	<i>Versão</i>
<i>Versão</i>	<i>Linha de Produção</i>	<i>Transação</i>	<i>Transação</i>
<i>Data e Hora</i>	<i>Operação</i>	<i>ID Nó</i>	<i>ID Nó</i>
<i>Recebedor</i>	<i>Operador</i>	<i>ID Parceiro</i>	<i>Produtos</i>
Dados do Material	<i>Data e Hora</i>	<i>Produtos</i>	<i>Quantidades</i>
<i>Código SKU</i>	<i>Ordem Produção</i>	<i>Quantidades</i>	<i>Data e Hora</i>
<i>Transação</i>	Lote	<i>Condições</i>	
<i>Matéria Prima</i>	<i>Versão</i>	<i>Data e Hora</i>	
<i>Ingredientes</i>	<i>Número de Lote</i>		
	<i>Transação</i>		
	<i>Operação</i>		
	<i>Versão Produto</i>		
	<i>Operador</i>		
	<i>Data e Hora</i>		
	Unidade de Produto		
	<i>Versão</i>		
	<i>Transação</i>		
	<i>Número de Lote</i>		
	<i>ID produto</i>		
	<i>Operador</i>		
	<i>Data e Hora</i>		

A escalabilidade dos protocolos Blockchain permitem que um alto volume de informações possa ser processado com um número controlado de nós, garantindo integridade e segurança das informações com um custo transacional baixo e controlado e esforço computacional de criptografia adequado (GARRIDO et al., 2021).

Muitas indústrias enfrentaram problemas na aplicação de Blockchain em suas operações pela dificuldade de padronização dos dados da cadeia de suprimentos e interoperabilidade de sistemas, desde setores governamentais, indústrias, alimentação, agricultura, saúde e óleo e gás enfrentam o problema que acabou limitando a digitalização

da sua cadeia de suprimentos e criando dificuldades de implementação do Blockchain (PERRONS; COSBY, 2020).

A cadeia de suprimentos é um sistema complexo composto de diversos arcos e nós interconectando participantes com fluxos de informação, produtos e valores, fazendo com que o gerenciamento dessa estrutura seja complexa e exija conhecimento sobre a rede de Reabastecimentos, aspectos do negócio e da operação. A utilização de um modelo padronizado de referência para desenho, mapeamento e desenvolvimento das operações da cadeia de suprimentos é essencial, sendo o SCOR um modelo internacionalmente adotado para este fim. (PERSSON, 2011).

Diferentes autores utilizam-se da metodologia SCOR para realização de estudos que exigem uma abordagem com maior transparência em cadeias de suprimentos considerando os principais macro processos apresentados: Source – Abastecimento; Make – Produção ou Manufatura; e Deliver – Distribuição. O modelo permite uma abordagem com visão expandida de ponta a ponta (end-to-end) a partir de processos padronizados que suportam métricas de desempenho e gerenciamento da cadeia de suprimentos permitindo a aplicação em qualquer segmento de negócio (KAMBLE, 2020).

As empresas farmacêuticas estão enfrentando constantemente novos desafios em seus negócios diariamente e necessitam de adaptação rápida e criação de excelência operacional para atender a demanda crescente e complexa do mercado global em que estão inseridos, e além dos desafios comuns à outras áreas, precisa enfrentar o encurtamento da vida útil das patentes que aumenta a ameaça da concorrência com a criação e comercialização de medicamentos genéricos. (EL MOKRINI et al., 2016).

3. MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa realizada neste trabalho é de natureza aplicada para desenvolvimento de novos processos ou produtos orientados para as necessidades do mercado permitindo que os resultados sejam aplicados ou utilizados imediatamente na solução de problemas que ocorrem na realidade com o desenvolvimento de novos processos ou produtos orientados para as necessidades do mercado.

A pesquisa aplicada é caracterizada por seu interesse em contribuir de maneira prática para o aumento do conhecimento científico sem interesse comercial diretamente atrelado ao seu resultado, mas sim buscando uma solução para um problema existente no mercado (TURRIONI; MELLO, 2012).

O escopo é exploratório por proporcionar maior familiaridade com o problema proposto e explorar as funcionalidades do Blockchain tornando mais explícitas, considerando levantamento bibliográfico e observação de cadeias de suprimento para estimular a compreensão. Adicionalmente o escopo é descritivo pois descreve as características de uma cadeia farmacêutica com suas regras e necessidades específicas, estabelecendo algumas relações entre as variáveis observadas.

A definição do escopo exploratório está ligada a execução de um trabalho que busca explicitar um problema e construir hipóteses a partir de pesquisas que envolvem além de levantamento bibliográfico, interações com pessoas e experiências práticas com o problema pesquisado para uma compreensão completa (TURRIONI; MELLO, 2012).

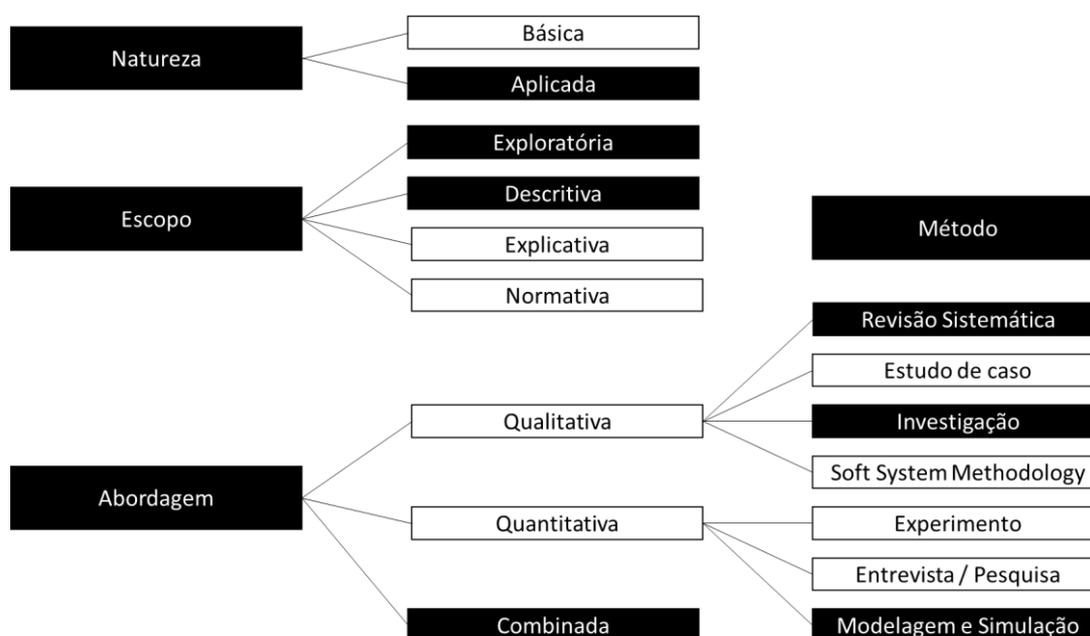
A abordagem da pesquisa é de aspecto combinado pois considera a combinação de abordagem quantitativa com a classificação e análise dos dados observados e coletados em materiais públicos, periódicos e publicações e também abordagem qualitativa, explorando a interpretação dos dados e processos observados que não podem ser traduzidos em números. A atribuição de significados e a interpretação das observações são chave na definição dos processos e seus significados para o problema como foco da abordagem.

A pesquisa caracterizada com aspecto combinado considera que o pesquisador pode trabalhar aspectos qualitativos e quantitativos de pesquisa, combinando as suas

partes da maneira que for mais adequado para a realização do processo de pesquisa e melhor alcance do resultado para o problema pesquisado (TURRIONI; MELLO, 2012).

O método é composto de investigação a partir da determinação do objeto do estudo, seleção das buscas e variáveis relacionadas capazes de influenciar no problema e observação dos efeitos destas no resultado. Adicionalmente, modelagem e simulação é empregada para experimentar e validar a proposta de alteração de uma dinâmica de operação em um modelo real de cadeia de suprimentos. Esse método permite a validação de maneira estururada e cientificamente segura sem interferir diretamente em uma situação ou operação real.

Figura 32 - Classificação da pesquisa científica.



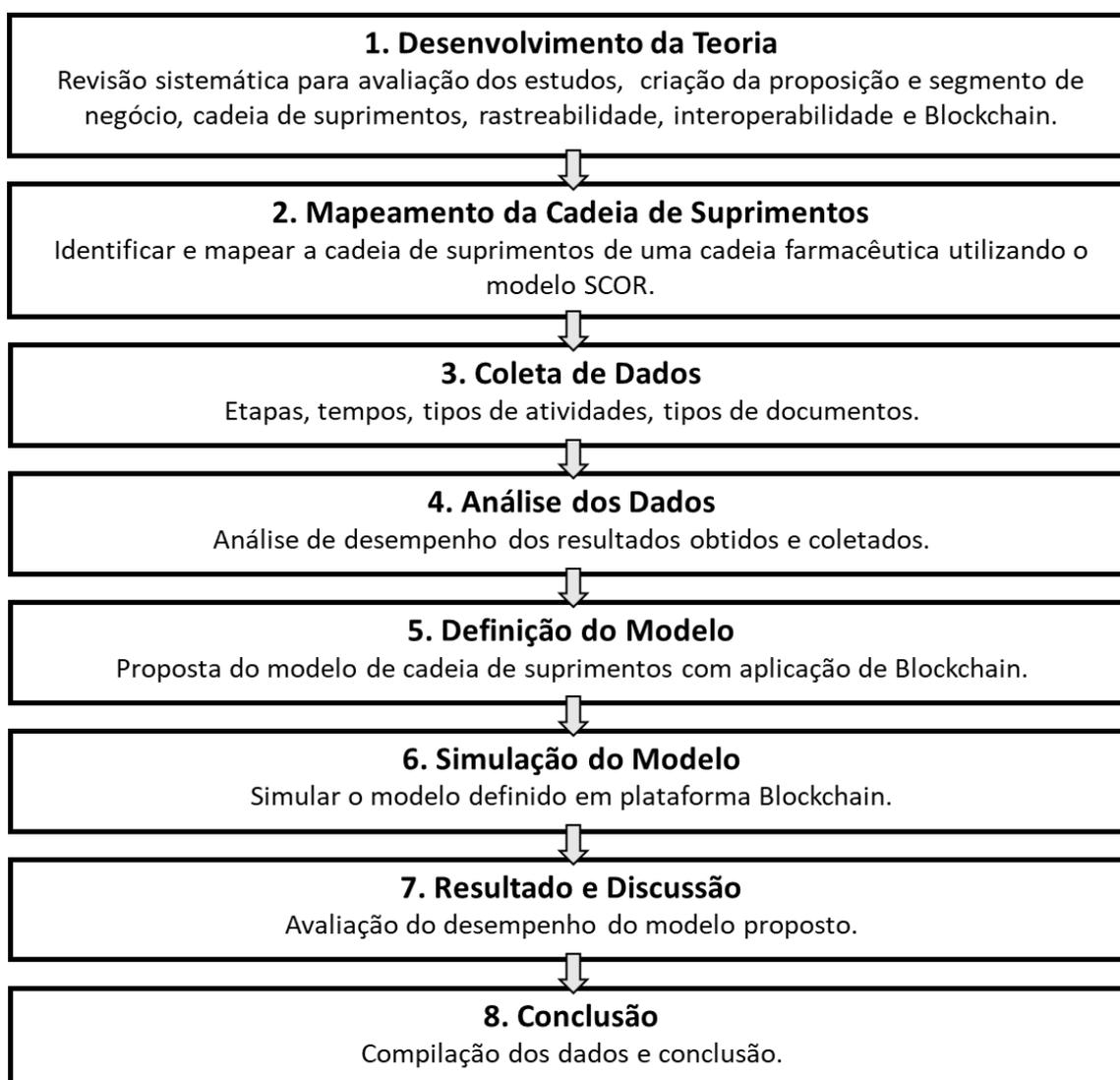
Trabalho destacado em caixa preta.(TURRIONI; MELLO, 2012).

3.1. Procedimento Metodológico

O procedimento metodológico é uma organização de todos os processos e passos seguidos para a realização do trabalho e mostra como foram tomadas as decisões, escolhas, técnicas de pesquisa utilizadas e passos adotados para a realização deste trabalho científico. Os resultados desta pesquisa podem ser replicados ou repetidos a partir da

realização dos mesmos passos apresentados nessa seção conforme apresentado na Figura 33.

Figura 33 - Procedimento Metodológico.



Desenvolvimento da Teoria: a fundamentação teórica é a parte que identifica e organiza os conceitos encontrados nos trabalhos relevantes sobre o assunto pesquisado trazendo o estado da arte dos campos de conhecimento dos assuntos abordados no trabalho identificando nas áreas algumas possíveis possibilidades de aprofundamento de estudo e pesquisa para contribuição relevante com o mundo científico. O desenvolvimento da teoria nesse trabalho se inicia com uma revisão sistemática para avaliação dos estudos seguindo a descrição do processo com Gupta e finalizada na proposta do Prisma e

posteriormente uma análise bibliométrica sobre os estudos pertinentes levantados na revisão para criação da proposição do trabalho, segmento de negócio na cadeia de suprimentos e identificou os temas de rastreabilidade, interoperabilidade, Blockchain e indicou como metodologia de mapeamento a utilização de SCOR. A revisão sistemática permite a avaliação mais detalhada e estruturada da distribuição dos estudos disponíveis sobre os assuntos pesquisados, focando em rastreabilidade, monitoramento e gerenciamento da cadeia de suprimentos, com posterior investigação em Blockchain auxiliando na construção de um referencial teórico adequado para embasar toda a discussão e avaliação dos modelos pensados e delimitação do trabalho. Foi criada uma pergunta de pesquisa para a revisão sistemática de forma a guiar o processo de seleção de material e complementação dos estudos. O procedimento para a revisão sistemática é descrito no item 3.1.1. A Análise bibliométrica é realizada a partir do tratamento dos dados levantados na revisão sistemática com a quebra, detalhamento e organização dos dados em indicadores diversos permitindo uma análise quantitativa de dados e informações presentes na base de dados favorecendo um entendimento mais completo para relevância deste trabalho.

Mapeamento da Cadeia de Suprimentos: para a realização do trabalho, uma cadeia de suprimentos farmacêutica é mapeada utilizando-se a metodologia SCOR para garantir a padronização das atividades mapeadas e permitir que o modelo seja replicável em outros segmentos de mercado além do farmacêutico. As cadeias de suprimento farmacêuticas são complexas e exigem o envolvimento de muitas partes interessadas com requisitos essenciais podendo ser ainda mais complexa no caso dos produtos refrigerados. O produto farmacêutico resfriado na cadeia de suprimentos deve fornecer a vários parceiros a capacidade de atualizar e compartilhar dados em tempo e qualidade adequada (BAMAKAN *et al.*, 2021).

A padronização das operações incluindo processos e canais de troca de informação e comunicação entre os participantes é ponto chave para a garantia de uma melhor interoperabilidade entre os parceiros da cadeia de suprimentos. Nesse ponto, a utilização de uma cadeia concebida e gerenciada a partir da metodologia SCOR tende a facilitar a construção de melhor operabilidade entre os sistemas e parceiros pela padronização de todos os pontos de contato e atividades entre esses parceiros preparando a própria cadeia de suprimentos para aumento de escala e tamanho a nível global.

A escolha da cadeia de suprimentos farmacêutica está baseada na maior complexidade dos processos de transformação e movimentação de produtos que exige maior controle e confiabilidade dos processos, oferecendo maior conteúdo para controle e rastreabilidade de movimentação e processos de transformação e adicionalmente uma baixa correlação apresentada na revisão sistemática de estudos relacionados à área. O funcionamento em um elo da cadeia de suprimentos farmacêutica valida o modelo e permite o sucesso da aplicação em outros tipos de cadeia.

Coleta de dados: a coleta de dados se realiza por meio de observação de uma cadeia de suprimentos farmacêutica para obtenção de dados relacionados à realidade desse segmento de negócio. Nesse tipo de observação, que faz parte de um estudo exploratório, recolhem-se dados sem que o pesquisador se utilize de qualquer meio técnico especial, sem realização de perguntas ou abordagem de pessoas, e sem a definição antecipada de um tema ou de um objeto a ser observado. Além da observação de uma operação real, foram coletados dados públicos e de periódicos do setor para enriquecer o conteúdo com dados numéricos.

Análise de dados: a análise dos dados coletados e organizados após o processo de investigação são utilizados para adquirir conhecimento das características e propriedades do mercado estudado para garantir que a condução dos próximos passos está em linha com os objetivos propostos por este trabalho.

Definição do modelo: nessa fase, as informações foram avaliadas e uma operação da cadeia de suprimentos foi escolhida para aplicação da simulação com Blockchain com base nos critérios discutidos no trabalho. O modelo escolhido é representativo e mostra uma atividade que pode ser replicada em outro segmento e ampliado para a cadeia de suprimentos de ponta a ponta.

Simulação do modelo: A simulação tem o objetivo de avaliar a aplicação de Blockchain na cadeia de suprimentos, condicionando espaço para analisar o comportamento da operação escolhida mediante modificação de processos e fluxos de informação sem que haja a modificação física da situação. O procedimento para a simulação é descrito no item 3.1.2

Resultado e discussão: Apresentação ordenada dos resultados da simulação do modelo proposto e avaliação do desempenho da cadeia de suprimentos escolhida para o trabalho.

Conclusão: Finalização do trabalho com apresentação das conclusões correspondentes ao objetivo do trabalho avaliando a resposta à pergunta de pesquisa e ao atingimento dos objetivos propostos. Apresentação de forma clara e ordenada as deduções obtidas a partir dos resultados da simulação e dos dados apresentados na discussão do tema e sugestão de temas para futuras pesquisas.

3.1.1. Desenvolvimento da Teoria: Revisão Sistemática

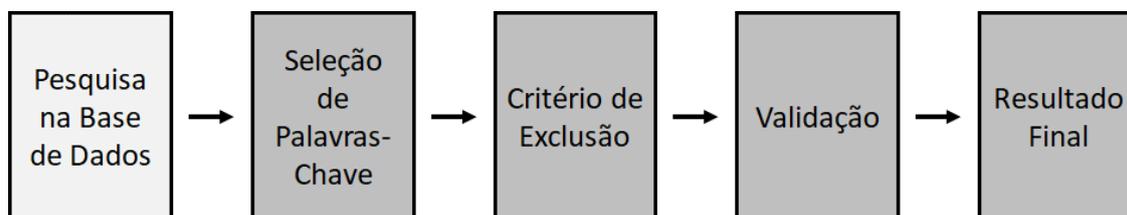
A revisão sistemática é um processo rigoroso de revisão literária que oferece uma maneira estruturada e resumida de entender uma questão específica pela organização de evidências sobre estudos realizados na área de pesquisa. O protocolo de revisão sistemática garante ao pesquisador identificar dados relevantes e confiáveis na literatura na área desejada reduzindo o risco de viés na pesquisa e seleção da literatura, sendo muito comum em grupos de discussão e mostra novas oportunidades de pesquisa no meio acadêmico (GUPTA *et al.*, 2018).

Estudos recentes concluem que metodologias de revisão sistemática oferecem reprodutibilidade de abordagem em diferentes tópicos ou áreas. Isso significa que diferentes grupos de estudo podem replicar diferentes resultados apenas aplicando os mesmos passos ou métodos presentes no estudo (GUPTA *et al.*, 2018). A reprodutibilidade refere-se à possibilidade de se repetir o mesmo trabalho nos mesmos padrões em outras áreas ou diferentes cenários de pesquisa (GUPTA *et al.*, 2019).

A revisão sistemática de literatura (SLR – *Systematic Literature Review*) é um método que possibilita o entendimento de algo de interesse a partir da definição, pesquisa, combinação e encontro de todos os estudos acadêmicos endereçando alvos de pesquisa baseados em dois passos: busca e seleção do material para revisão. (BULUT, 2018).

Os resultados da revisão devem ser organizados e contribuir para o entendimento dos estudos ao longo do tempo e podem ser reconhecidos pela comunidade científica dependendo do impacto e do apontamento de oportunidades adicionais de discussão ou pesquisa. A informação da pesquisa pode ser analisada estatisticamente ou organizada em tabelas para prover esse entendimento completo dos gaps e oportunidades sendo esta, a base de discussão e conclusão da pesquisa (SHARMA *et al.*, 2020).

Figura 34 - Etapas da revisão sistemática.

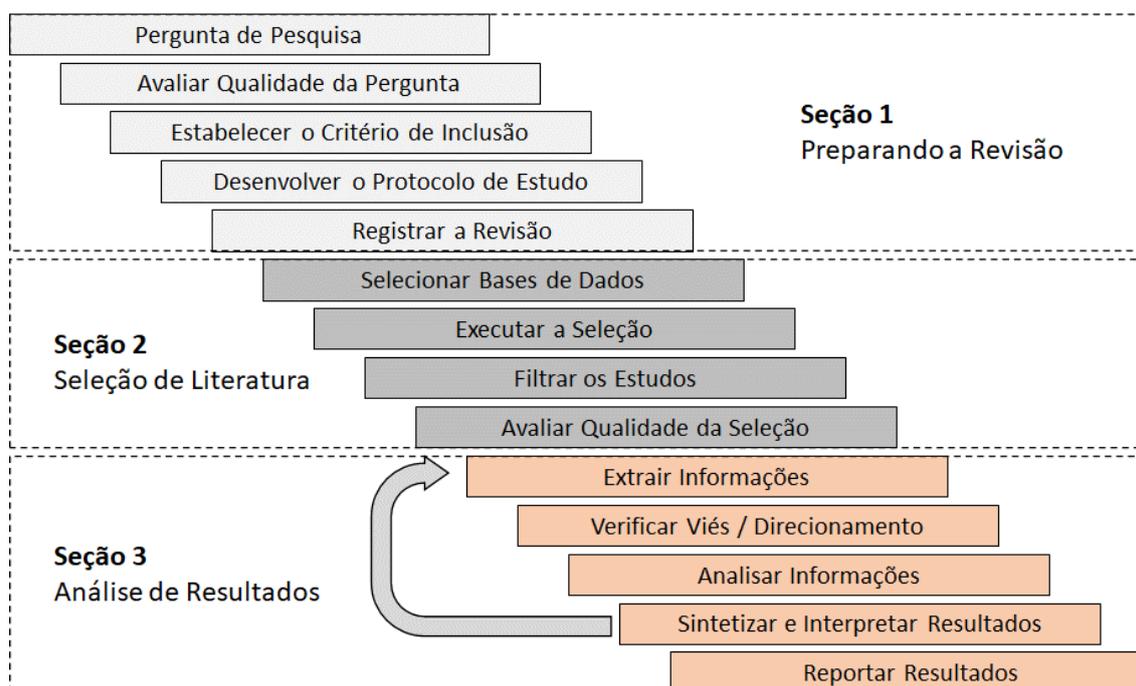


Adaptado de (Sharma 2020).

A revisão sistemática pode ser organizada em grupos de atividades de modo a fornecer uma abordagem científica confiável e possibilidade de reprodutibilidade do estudo em outras áreas e pode ser formada por três grupos: (i) preparação da pesquisa; (ii) seleção da literatura e (iii) Análise dos resultados e validação. (GUPTA *et al.*, 2018).

De acordo com (GUPTA *et al.*, 2018) existem diferentes passos divididos em três seções para serem seguidos em um protocolo de pesquisa definido que permite a execução de uma pesquisa de boa desempenho. A primeira seção é focada na preparação do estudo e na criação da estrutura da revisão sistemática. A segunda seção descreve como conduzir a pesquisa literária usando um protocolo pré definido e a terceira seção tratará a análise e validação das informações para garantir a qualidade da revisão sistemática conforme demonstrado na Figura 35.

Figura 35 - Organização de uma revisão sistemática.



Adaptado de (GUPTA et al., 2018).

Seção 1: Preparação

A preparação da revisão é o passo mais importante da metodologia e contém a pergunta de pesquisa que guiará todos os passos seguintes do trabalho na direção de um resultado adequado e relevante para a pesquisa. Após a definição da questão, se avalia a qualidade e aderência da questão com relação ao problema de pesquisa e à adequação dos resultados que podem ser obtidos por meio da pesquisa para solução do problema. Após esse passo se estabelece os critérios de inclusão e se desenvolvem protocolos de estudo registrando-se a pesquisa quando necessário.

Cada uma das etapas possui atividades específicas e são importantes para composição de um resultado final adequado. As cinco atividades da primeira seção são trabalhadas detalhadamente, conforme mostrado no Quadro 15.

Quadro 15 - Revisão sistemática Seção 1 – Preparação. Adaptado de (GUPTA et al., 2018).

Seção	Atividade	Descrição
1 – Preparação	a. Desenvolver pergunta de pesquisa.	Formular uma pergunta específica relacionada a um problema cobrindo todo o conteúdo do estudo.
	b. Avaliar qualidade da pergunta de pesquisa	Verificar a aderência do problema e a relevância das possíveis respostas.
	c. Estabelecer critério de inclusão.	Definir critérios para guiar a inclusão de respostas relevantes baseadas nas restrições definidas na pergunta de pesquisa.
	d. Desenvolver protocolo de estudo.	Criar um guia para gerenciamento do estudo baseado nos objetivos definidos, métodos e estratégias.
	e. Registrar a revisão.	Registrar o protocolo de pesquisa em uma base de dados central se necessário.

Seção 2: Seleção de Literatura

A seleção de literatura pode ser a parte mais longa do projeto de pesquisa. Esse momento se inicia com o término da seção 1 quando se executa o conteúdo planejado. Nessa seção, a pesquisa é realizada com a extração, organização, filtro, verificação de qualidade de todos os documentos encontrados no processo de pesquisa. (GUPTA *et al.*, 2018) conforme mostrado no Quadro 16.

Quadro 16 - Revisão sistemática Seção 2 – Revisão de literatura. Adaptado de (GUPTA 2018).

Seção	Atividade	Descrição
2 – Revisão de literatura	a. Seleção de base de dados	Formular uma pergunta específica relacionada a um problema definido cobrindo o conteúdo do estudo.
	b. Condução do estudo e pesquisa	Verificar a aderência ao problema e relevância de todos os resultados obtidos.
	c. Seleção e filtro dos estudos	Definição de critério de inclusão para as respostas relevantes com base nas restrições definidas na pergunta.
	d. Avaliação da qualidade da pesquisa	Prover um guia para gerenciamento do estudo baseado nos objetivos definidos, métodos de seleção e estratégias

Seção 3: Análise dos resultados

Nessa seção os resultados são extraídos e analisados de modo a permitir a identificação de qualquer tipo de viés ou irregularidade na pesquisa que possa ter ocorrido nos passos anteriores. A verificação e sintetização dos resultados se inicia para interpretação do estudo. Qualquer desvio ou erro encontrado nessa etapa pode causar um retrabalho no processo direcionando o estudo a uma nova extração de dados. Após essa etapa, os resultados são organizados e apresentados (GUPTA *et al.*, 2018) conforme Quadro 17.

Quadro 17 - Revisão sistemática Seção 3 – Análise de resultados. Adaptado de (GUPTA et al., 2018).

Seção	Atividade	Descrição
3 – Análise dos resultados e validação	a. Extração de dados e informações	Ler e extrair informações de todas as documentações relevantes para o estudo e organizá-las.
	b. Verificação de viés	Verificar ocorrência de viés e qualidade das respostas obtidas em comparação com a pergunta de pesquisa.
	c. Análise de dados	Avaliar as respostas das pesquisas, incluindo acuracidade contra a proposta de estudo. Pode ser necessária utilização de análises estatísticas.
	d. Sintetização e interpretação	Preparar, organizar e combinar as informações para pontuar oportunidades de novos estudos ou discussões.
	e. Publicação dos resultados	Organizar a publicação ou estruturar a apresentação do resultado obtido do estudo incluindo racionais, objetivos, métodos e resultados.

3.1.2. Simulação

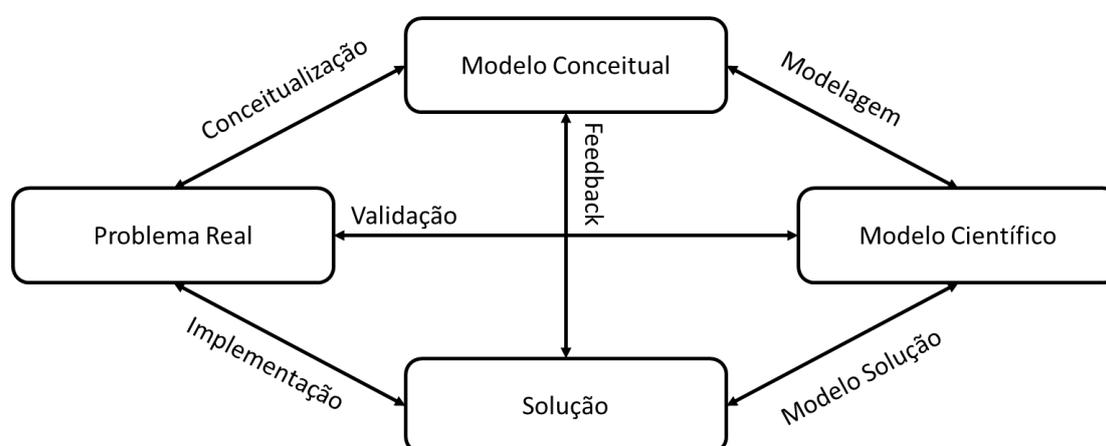
Os trabalhos de simulação na área de engenharia de produção podem ter início no desenvolvimento de softwares e trata do processo de criar e experimentar um processo ou sistema físico a partir de um modelo matemático computadorizado, podendo ser um

sistema definido por um conjunto de componentes ou processos que se interagem e geram resultados a partir de dados recebidos na entrada e analisados na saída do processamento. (CHUNG 2004).

A simulação é recomendada por diversos autores para elaboração de possíveis soluções de problemas quando o objetivo é avaliar novas tecnologias, condicionando espaço para analisar o comportamento de um sistema mediante uma modificação de processos sem que haja a modificação física da situação (TURRIONI; MELLO, 2012).

A execução do modelo utilizado no trabalho é composta de quatro fases: conceitualização, modelagem, solução do problema pelo modelo e implementação para solução do problema real. Na fase de conceitualização é criado um modelo conceitual com base no problema real em estudo, são identificadas todas as variáveis que necessitam ser incluídas no modelo e o escopo do problema a ser estudado e trabalhado. Na fase de modelagem, o trabalho é a construção do modelo a ser utilizado relacionando as interações causais entre as variáveis identificadas na etapa anterior montagem das estruturas e programação. A próxima fase é quando se avalia a solução a partir do ponto de vista do modelo considerando principalmente validações matemáticas para determinação das relações com as variáveis para implementação final, conforme ilustrado na Figura 36. (TURRIONI; MELLO, 2012).

Figura 36 - Estrutura para execução de modelagem e simulação.



Adaptado de (TURRIONI; MELLO, 2012).

A conceitualização é a etapa de entendimento do problema e levantamento das razões que levaram à decisão de estudo para se desenvolver o modelo de simulação, sendo muitas vezes suficiente a observação do cliente da operação para coletar informações da operação real e montagem do modelo conceitual que consiste em uma descrição específica e detalhada do modelo de simulação contendo os objetivos, entradas, saídas, conteúdo e suposições do modelo (ROBINSON, 2004).

Técnicas de mapeamento de processo com utilização de ferramentas para mapas de fluxo, fluxogramas e esquemas podem ser utilizados para um melhor entendimento da lógica operacional a ser utilizada na simulação. O resultado do mapeamento do processo a ser simulado é uma representação gráfica que mostra os recursos de entrada, processamento e saídas e também a relação entre cada um deles. Essa análise pode ser complementada por informações reais de máquinas, equipamentos e outros componentes da situação real (TURRIONI; MELLO, 2012).

A modelagem é o processo de montagem de um modelo computadorizado a partir da conversão do modelo conceitual, podendo ser feito em uma planilha eletrônica, um software especialista ou uma linguagem de programação específica que relaciona o modelo conceitual com o modelo computacional. O modelo computacional deve ser desenvolvido de maneira incremental com documentação e testes passo a passo para que os erros possam ser tratados até a versão final. A modelagem considera os pontos e recursos físicos da operação, elementos que transitam na operação finalizando a etapa com a documentação do modelo (ROBINSON 2004).

A solução pelo modelo é a fase em que são realizadas experimentações e simulações no modelo criado a fim de se obter um melhor entendimento da operação real, análise das interações entre as variáveis e resultados do problema e questionamento das variações e testes de hipóteses nas entradas do processo permitindo a partir da análise e armazenamento de dados, buscar padrões de comportamentos e interatividade por lotes de processamento durante as simulações. O modelo deve ser rodado até a obtenção de um volume de dados que permita conclusões significativas para o estudo. (ROBINSON, 2004).

A fase de implementação trata da aplicação ou implementação das descobertas da simulação a partir da documentação e preparação das aplicações, implementação do novo modelo desenvolvido durante a implementação incluindo mudanças de processo e

treinamento de equipes para utilização do novo modelo, ou um aprendizado que pode ser colocado em prática a partir dos resultados do processo realizado por tomada de decisão futura (TURRIONI; MELLO, 2012).

A finalização do processo de simulação se dá com a comparação do modelo científico e o real para assegurar que o modelo conceitual foi criado com precisão adequada, o que pode ser feito a partir da depuração da programação e codificação utilizada para a simulação, buscando erros de sintaxe e erros de semântica na programação. As principais técnicas de verificação consistem na comparação da coerência entre o resultado encontrado na simulação e o cenário real considerando a inexistência de diferenças substanciais. (DUARTE 2003).

Os problemas de escalabilidade em sistemas Blockchain surgem quando conjuntos de dados em grande escala são transmitidos eletronicamente com limitações de largura de banda ou firewalls exigentes, assim afetando a capacidade de resposta, velocidade de transação e custos diretos de longo prazo das redes em operação (GARRIDO, et. *al.*, 2021).

Com base na literatura sobre o tema desenvolvido nesta pesquisa, avalia-se que o problema de escalabilidade da tecnologia pode ser resolvido a partir de cinco critérios para escolha do Blockchain mais adequado:

- O número de transações enviadas por unidade de tempo dos nós iniciais, também conhecido como taxa de transferência da transação - através da rede Blockchain;
- O número de transações recebidas por unidade de tempo dos Blockchains gerados - ou latência de confirmação de transação;
- O número de transações com falha;
- O número de nós em cada protocolo de Blockchain;
- O custo direto de implementação da infraestrutura necessária para cada protocolo Blockchain usando a opção baseada em nuvem.

Avalia-se também diferentes protocolos buscando identificar com base nesses cinco critérios, qual deles é o mais adequado para implementação garantindo a escalabilidade da operação, fator importante para a cadeia de suprimentos devido ao grande volume de informações transacionais realizados todos os dias.

As plataformas de Blockchain são formadas por grandes redes de computadores e são classificadas como públicas e privadas. As redes públicas, como o Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Monero e Zcash funciona de maneira totalmente descentralizada de modo que os usuários possam acessar e gravar os dados nos blocos com execução de *Smart Contracts* de maneira totalmente livre (LU et.al., 2021).

Para aplicações de simulações, o Blockchain privado pode utilizar-se de mecanismos menos intensivos de mineração de dados e criptografia para o consenso entre os nós e validação dos blocos de dados por trabalhar em um ambiente em que os participantes já são validados (DE VILLIERS et al., 2021). Adicionalmente, outras plataformas permissionadas de Blockchain como Hyperledger Fabric, Kapeas, TradeLens, IBM Blockchain, AntChain e Quorum possuem usuários identificados e limitados que podem incluir ou validar informações em blocos de dados apenas segundo suas permissões de acesso (LU et.al., 2021).

É considerado como premissa para este estudo a adoção de Blockchain público para avaliação e escolha do modelo para utilização, uma vez que as redes privadas ou permissionadas comercialmente disponíveis possuem um custo transacional superior ao custo transacional das redes públicas (HELO; HAO, 2019).

Nesta pesquisa, o Ethereum foi selecionado para realizar a simulação por ser uma plataforma aberta conhecida de Blockchain público que oferece máquinas virtuais (VMs) descentralizadas para executar contratos inteligentes por uma linguagem de script de aplicação geral integrada, a partir de uma linguagem de programação aberta chamada Solidity (HELO; HAO, 2019).

- 1) Ethereum é considerada a plataforma Blockchain mais proeminente e utilizada nas empresas. É baseado no protocolo Bitcoin e integra novas facilidades e capacidades como a possibilidade de utilização de *Smart Contracts*, ser flexível e altamente programável para conexão com diferentes sistemas. Possui código aberto e possui ambientes de aprendizado e desenvolvimento aberto.
- 2) Dogecoin é o primeiro concorrente do Bitcoin criado com base em critérios de acessibilidade. Pouco utilizado comercialmente em relação ao Ethereum, porém tecnicamente muito flexível para integração com outros protocolos Blockchain.

- 3) Bitcoin é a plataforma mais popular entre as comunidades de código aberto e mecanismos de consenso. Necessita de *Smart Contract* externo. Em termos de escalabilidade, esta plataforma tem demonstrado um baixo desempenho de transação sendo mais propenso a violações de privacidade e segurança quando comparado com o Ethereum.

Em termos de envios e recebimento de transações, o protocolo Ethereum tem um desempenho significativamente melhor do que Protocolos Dogecoin e Bitcoin, respectivamente, assim como em falhas de transações. Adicionalmente, uma rede Blockchain com menor número de nós necessários para a validação da informação apresenta-se mais rápida em processamento e menor custo transacional, mostrando nesses dois critérios uma grande diferença do Ethereum para os demais protocolos avaliados reforçando o protocolo como o mais adequado e em linha com outros resultados de pesquisa anteriormente realizadas.

A partir da disponibilidade de ambiente de aprendizado e simulação abertos para criação de Smart Contracts e simulação de diferentes transações em ambiente Blockchain, foi escolhida a plataforma Ethereum para realização da simulação deste trabalho.

A escolha da plataforma Ethereum para a realização da simulação neste trabalho foi feita com base nos seguintes fatores comparando-se Ethereum, Dogecoin e Bitcoin com base nos dados verificados em trabalhos de diferentes autores:

- Disponibilidade de ambiente de aprendizado e simulação constatado a partir da avaliação e teste de diferentes plataformas;
- Facilidade de operação, programação e interface com usuário observado e testado entre diferentes plataformas;
- Tecnologia adequada para criação e execução de *Smart Contracts*;
- Tecnologia escalável e capaz de alto volume de processamento;
- Velocidade de processamento;
- Confiabilidade, segurança e governança da informação;

Nesse sentido, a plataforma Ethereum é considerada como o protocolo Blockchain público mais adequado para processamento de um alto volume de transações (GARRIDO et. al., 2021) entre três alternativas consideradas e a simplicidade de programação em linguagem Solidity favorece a aplicação em diversas situações a baixo custo (HELO; HAO, 2019). Adicionalmente o Ethereum se mostra mais maduro na aplicação em diferentes modelos de negócio em empresas para gerenciamento e controle de operações (PERRONS; COSBY, 2020).

Na execução da simulação utiliza-se o Remix IDE que é um aplicativo desktop baseado em internet de código aberto que oferece de maneira amigável por um conjunto de plugins e guias interativos com usuário, um ambiente de desenvolvimento de *Smart Contracts* em Blockchain. O Remix IDE pode ser utilizado em toda a jornada de desenvolvimento dos contratos inteligentes, incluindo compilação e execução em ambiente teste e funciona atrelado a uma carteira virtual.

O Remix é completamente executável em ambiente virtual remoto a partir da instalação de um *plugin* de carteira virtual para a criação do nó e, permite que o usuário trabalhe em um navegador virtual na criação das rotinas de programação e execução manual do programa para simulação do Blockchain em uma experiência rápida, eficiente e resiliente que é implantada em qualquer aplicativo descentralizado.

O Remix IDE é utilizado pela comunidade de desenvolvedores para aprendizado e evolução da programação de Blockchain e funciona em JavaScript permitindo a programação dos contratos em Solidity.

O simulador Remix IDE é um aplicativo *open source* de ambiente remoto, ou seja, que pode ser utilizado diretamente no navegador de internet gratuitamente. Ele é usado para o desenvolvimento de um *Smart Contract* neste trabalho, dentro de um ambiente que simula a plataforma Ethereum. No Remix IDE, é possível escrever em uma linguagem de programação própria, o Solidity, que é muito similar a Java, Python e C++, mas com especificidades de *Smart Contracts*.

A linguagem Solidity é uma linguagem de programação de alto nível orientada a objetos usada na criação de *Smart Contracts* que automatizam transações em um Blockchain. Foi criada em 2014 e vem sendo atualizada e desenvolvida em colaboração

por diferentes programadores dentro do ambiente Ethereum podendo ser utilizada para outros Blockchains (REMIX-IDE, 2022).

A programação é realizada a partir de códigos escritos organizados em grupos e variáveis com funções específicas e suportados por bibliotecas de funções disponíveis aos usuários disponibilizando as informações para processamento em uma máquina virtual Ethereum (EVM) garantindo a operabilidade do sistema e a segurança do processamento das informações por meio dos usuários (REMIX-IDE, 2022).

A criação de um contrato inteligente para simulação do armazenamento de informações dentro das etapas mapeadas do modelo da cadeia de suprimentos escolhido como foco desse trabalho. Para isso, inicialmente, idealizou-se a cadeia hipotética de suprimentos farmacêutica com base em todos os dados estudados e, em seguida, apresenta-se a cadeia de suprimentos farmacêutica proposta com a aplicação do Blockchain.

A carteira virtual utilizada na simulação é o Metamask. Trata-se de uma carteira de criptomoeda para simulação, usada para interagir com o blockchain Ethereum, permitindo que os usuários acessem sua carteira Ethereum por meio de uma extensão do navegador ou aplicativo móvel, que pode então ser usado para interagir com aplicativos descentralizados. Adicionalmente o Metamask cria e configura a partir dessa conexão, um *light node* ou nó de usuário dentro do Blockchain que permite a interação direta com a rede descentralizada (METAMASK, 2022).

O Metamask permite que os usuários armazenem e gerenciem chaves de conta, transmitam transações, enviem e recebam criptomoedas e *tokens* baseados em Ethereum e se conectem com segurança a aplicativos descentralizados por meio de um navegador da remoto compatível ou do navegador integrado do aplicativo móvel por meio de um *light node* (METAMASK, 2022).

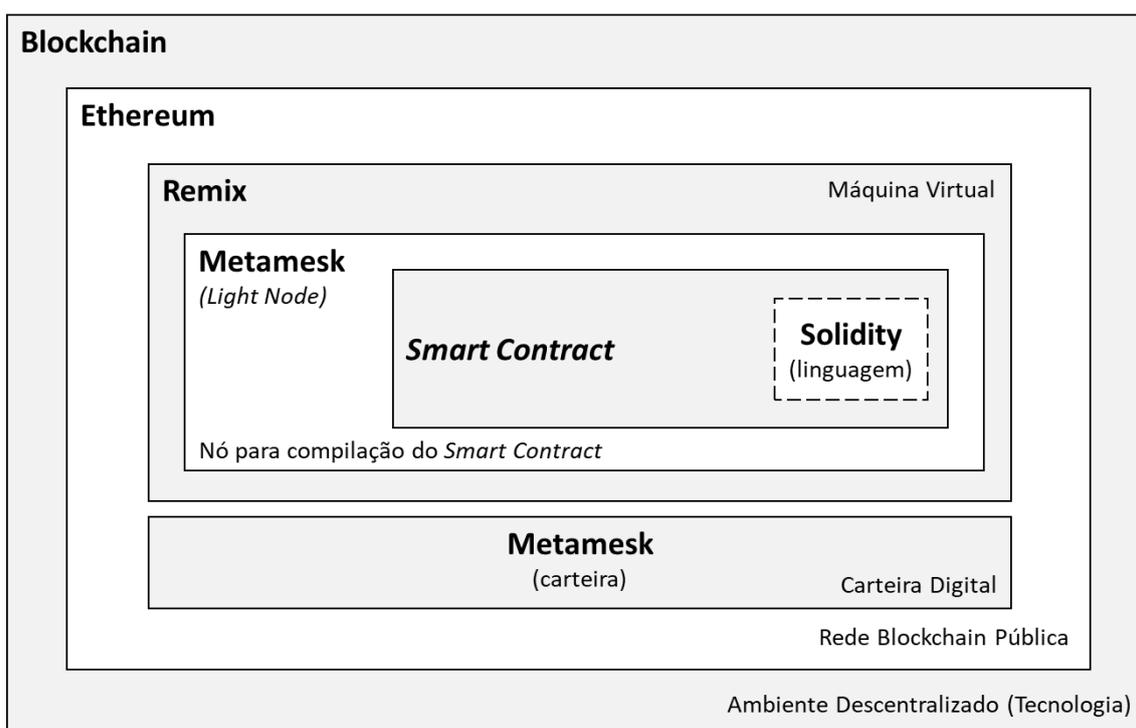
O *light node* é um tipo de nó dentro do Blockchain que se mantém funcionando rapidamente sem que seus sistemas subjacentes fiquem lentos ou sejam afetados por conter um grande volume de dados. Ele contém apenas uma lista parcial de uma operação de Blockchain, que geralmente inclui apenas os cabeçalhos do bloco, e não todo o histórico de transações. Esse tipo de nó está ligado aos usuários do Blockchain e

geralmente conectados a aplicativos descentralizados e aplicativos web. (UDDIN et al., 2021).

Um *full node* é um tipo de nó dentro do Blockchain que contém uma cópia inteira do livro-razão do Blockchain, ou seja, todas as transações desse Blockchain, em tempo real. Ambos podem executar as mesmas funções dentro da rede. Esse tipo de nó está presente na estrutura do Blockchain e é responsável pela compilação e execução dos *Smart Contrats* e também mineração e execução das transações em função dos *Smart Contracts* previamente definidos. (UDDIN et al., 2021).

O relacionamento entre os componentes da estrutura da simulação mostra a conexão e diferença de hierarquia entre cada um deles, sendo o Blockchain a tecnologia empregada de processamento e armazenagem descentralizada. O Ethereum é a plataforma de Blockchain público. o Remix trata de um ambiente de simulação dentro de uma máquina virtual no Ethereum. O Metamask atua em duas diferentes frentes: o *light node* e a carteira virtual, finalmente, o *Smart Contract* é montado em linguagem Solidity no Remix. A Figura 37 ilustra a estrutura de relacionamento da simulação.

Figura 37 - Estrutura de relacionamento da simulação



O propósito de condução de uma pesquisa através de modelagem e simulação de sistemas é permitir um conhecimento mais específico da forma de operação do sistema, considerando o desenvolvimento de políticas operacionais e recursos para aperfeiçoamento do desempenho do sistema. O teste de novos conceitos e sistemas antes de sua real implementação e obtenção de informações sem interferência no sistema atual. (TURRIONI; MELLO, 2012).

3.2. Considerações Finais Sobre o Método de Pesquisa

Durante a criação do referencial teórico, são explorados os conteúdos da cadeia de suprimentos, rastreabilidade, arquiteturas de sistemas de rastreamento, tecnologias de coleta de informação para rastreamento, mercado farmacêutico, SCOR e Blockchain.

O mapeamento é realizado com base na observação e conhecimento de uma cadeia de suprimentos de uma indústria farmacêutica multinacional presente em mais de 80 países e que possui operações no Brasil e na América Latina. Fornece produtos de alta qualidade com um portfólio completo constituído por vitaminas, herbais, medicamentos de baixa complexidade conhecidos como OTC, medicamentos vendidos sob prescrição médica, produtos de receita controlada, medicamentos para oncologia, doenças raras, e outros.

Os dados observados na empresa referenciada para a simulação mostram uma cadeia de suprimentos composta de empresas do grupo para fornecimento de princípios ativos, granéis e produtos acabados e terceiros que trabalham complementando o portfólio com cápsulas gel, manufatura e outros, representando muito bem a complexidade do mundo farmacêutico e contribui para a criação de um modelo realista para este trabalho.

A estrutura da cadeia de suprimentos também deve ser capaz de garantir a validade das informações, e protegê-las contra erro humano e documentação ausente forçando o sistema a interagir com outros sistemas nacionais e internacionais, transporte e sistemas regulamentares. A maioria das interações depende de tempo, disponibilidade da informação e interoperabilidade entre os sistemas, fazendo com que exista uma limitação de visibilidade entre fabricantes, prestadores de serviço de operações logísticas, empresas atacadistas e redes farmacêuticas de varejo (BAMAKAN et al., 2021).

A execução do trabalho passo a passo permite identificar que a utilização de um padrão de referência para mapeamento de uma cadeia de suprimentos facilitaria o trabalho durante a execução e colaboraria no sentido de permitir uma estruturação adequada para posterior comparação com outras cadeias de suprimentos e para a garantia da construção de um conteúdo adequado e confiável. A metodologia escolhida para tal foi o SCOR.

Embora alguns aspectos da cadeia de suprimentos tendem a trazer estudos focados e transacionais muito específicos em algumas operações, a utilização de SCOR como metodologia de mapeamento da cadeia de suprimentos permite e garante uma expansão dessa cadeia de suprimentos com uma abordagem completa de ponta a ponta, incluindo desde os primeiros fornecedores até os clientes finais, posicionando corretamente as funções de supply no grupo de sourcing e ajustando as atividades de cada uma das etapas apresentadas permitindo o detalhamento em três níveis.

Durante o mapeamento são avaliados todos os pontos de conexão entre as etapas da cadeia de suprimentos e os processos de nível 3 foram identificados segundo a metodologia SCOR para que fosse possível comparar os impactos da adoção do Blockchain na interação dos parceiros da cadeia de suprimento, avaliando a distribuição de informações em estratégias diferentes para a validação da proposição na etapa de resultados e discussões.

Em seguida, busca-se o entendimento do panorama geral dos trabalhos, utilizando o modelo SCOR atendendo a necessidade de utilização de uma linguagem apropriada e comparável entre diferentes empresas e em diferentes estágios da cadeia de suprimentos, sendo a metodologia adequada e abordagens estruturadas no modelo SCOR (*Supply Chain Operations Reference*) proposto pelo *Supply Chain Council*.

Após o mapeamento da cadeia de suprimentos com base no método escolhida do modelo SCOR, é possível identificar a interação entre os participantes da cadeia tanto no fluxo físico quanto no fluxo de informações que é também importante para a avaliação das soluções propostas e avaliação dos resultados esperados da aplicação de Blockchain em diferentes estratégias de acionamento da cadeia de suprimentos analisada.

4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Neste capítulo, os dados levantados são organizadamente apresentados, seguindo o desenvolvimento da análise bibliométrica, do mapeamento da cadeia de suprimentos e da coleta e análise de dados, assim como, demonstra-se os resultados obtidos com o processo de investigação científica e da simulação do modelo proposto, servindo de base para a análise e conclusão da proposta do trabalho.

4.1. Desenvolvimento

Os fatores são elementos que contribuem ou influenciam na obtenção de um resultado, condições ou causas auxiliando no foco das análises e guiando o detalhamento de uma análise ou investigação superficial podendo variar em cada tipo de negócio. Os fatores servem também como ponto de referência para análise de complexidade de uma cadeia de suprimentos a partir do momento que relaciona os elementos e os impactos causados por esses elementos no resultado do atendimento das necessidades de mercado. (OZKAN-OZEN et al., 2020).

Os critérios são parâmetros usados para comparação, escolha julgamento ou avaliação que auxiliam na tomada de decisões, comparação e relações entre diferentes assuntos ou matrizes de dados, servindo também como base para alternativas de solução de problemas. Os critérios podem ter diferentes pesos em função de sua relação com o problema analisado ou com a relevância para o resultado final de uma pesquisa. (OZKAN-OZEN et al., 2020).

As variáveis são elementos que mensuram as características de interesse de um assunto relacionadas aos elementos de estudo, podendo ser qualidades, atributos, valores, números, medidas ou dados diversos podendo ser classificadas em dois grupos: qualitativas e quantitativas. Os estudos buscam definir variáveis de controle ou referência para comparação dos impactos e resultados da solução proposta dos problemas de maneira e explicar todo o processo e sua relação de dependência (PAN et al., 2021).

A resiliência é a capacidade de uma organização se recuperar de distúrbios na cadeia de suprimentos ou se ajustar rapidamente a contextos adversos ou perturbações diversas, incluindo a capacidade de responder à rupturas na cadeia de suprimentos de

maneira efetiva e também crescer seus negócios efetivamente após a recuperação. Isso reflete a capacidade de uma entidade empresarial ou organização de empresas de sobreviver, adaptar-se e crescer face às mudanças turbulentas. (MUBARIK et al., 2021)

4.1.1. Análise Bibliométrica

A revisão sistemática é utilizada no início do trabalho na verificação das possíveis oportunidades de desenvolvimento do estudo sobre a aplicação da tecnologia Blockchain e a validação dos campos escolhidos. O critério de inclusão considera para o estudo todos os artigos acadêmicos do tipo pesquisa e revisão, que em nosso entendimento reflete o melhor conhecimento no momento sobre os tópicos escolhidos. São usadas as combinações de palavras chave: *Track & Trace and Transportation*; *Tracking and Transportation*; *Traceability and Transportation* conforme Quadro 18. A combinação é necessária após a primeira extração de dados, para evitar o surgimento de assuntos de outras áreas como engenharia de materiais, medicina e biologia que não se relacionam com o tema do trabalho.

Quadro 18 - Conteúdo da Seção 1 - Revisão Sistemática

Etapa	Conteúdo
Pergunta:	Como estão distribuídos os estudos em Rastreamento e Monitoramento em transportes e quais são as tecnologias aplicadas nas diferentes áreas de negócios na cadeia de suprimentos?
Critério de Inclusão:	a) Palavras-chave: Track & Trace + Transportation; Tracking + Transportation; Traceability + Transportation b) Anos de pesquisa: 2000 – 2021 c) Ordem de relevância por citações no site

Os artigos pesquisados e extraídos da base de dados estão limitados aos anos de 2000 a 2021, todos sendo classificados de acordo com a relevância na base de pesquisa que faz a classificação em função do número de citações de cada título. A fase de seleção resulta na escolha de três de bases de dados: Scielo, Scopus e Science Direct, que se entende, representam as mais relevantes bases de dados na área de pesquisa e onde os artigos mais recentes e inovadores foram encontrados. Adicionalmente, são pesquisadas outras bases de dados, via SBU – UNICAMP, complementando a pesquisa com artigos da base Engineering Village/Compendex, disponível no SBU – Sistemas de Bibliotecas

da Unicamp. Trata-se de uma base de dados de engenharia disponível com diversos assuntos relacionados às disciplinas de engenharia, na qual utilizam-se as mesmas palavras-chave pesquisadas. Todos os jornais apresentados no filtro de pesquisa possuem alto impacto no mundo científico e todos os trabalhos estão organizados em ordem decrescente a partir da maior relevância de classificação.

Todos os artigos que atendem o critério de inclusão de combinação das palavras-chave citadas estão incluídos no estudo e o resultado final é a obtenção de um total de 11.696 artigos sem duplicatas com uma maior quantidade na base Science Direct (86%) Scopus (13,8%) Compendex (0,1%) e Scielo (0,1%) conforme pode ser visto no Quadro 19:

Quadro 19 - Resultado da extração de dados - Revisão Sistemática artigos em Inglês

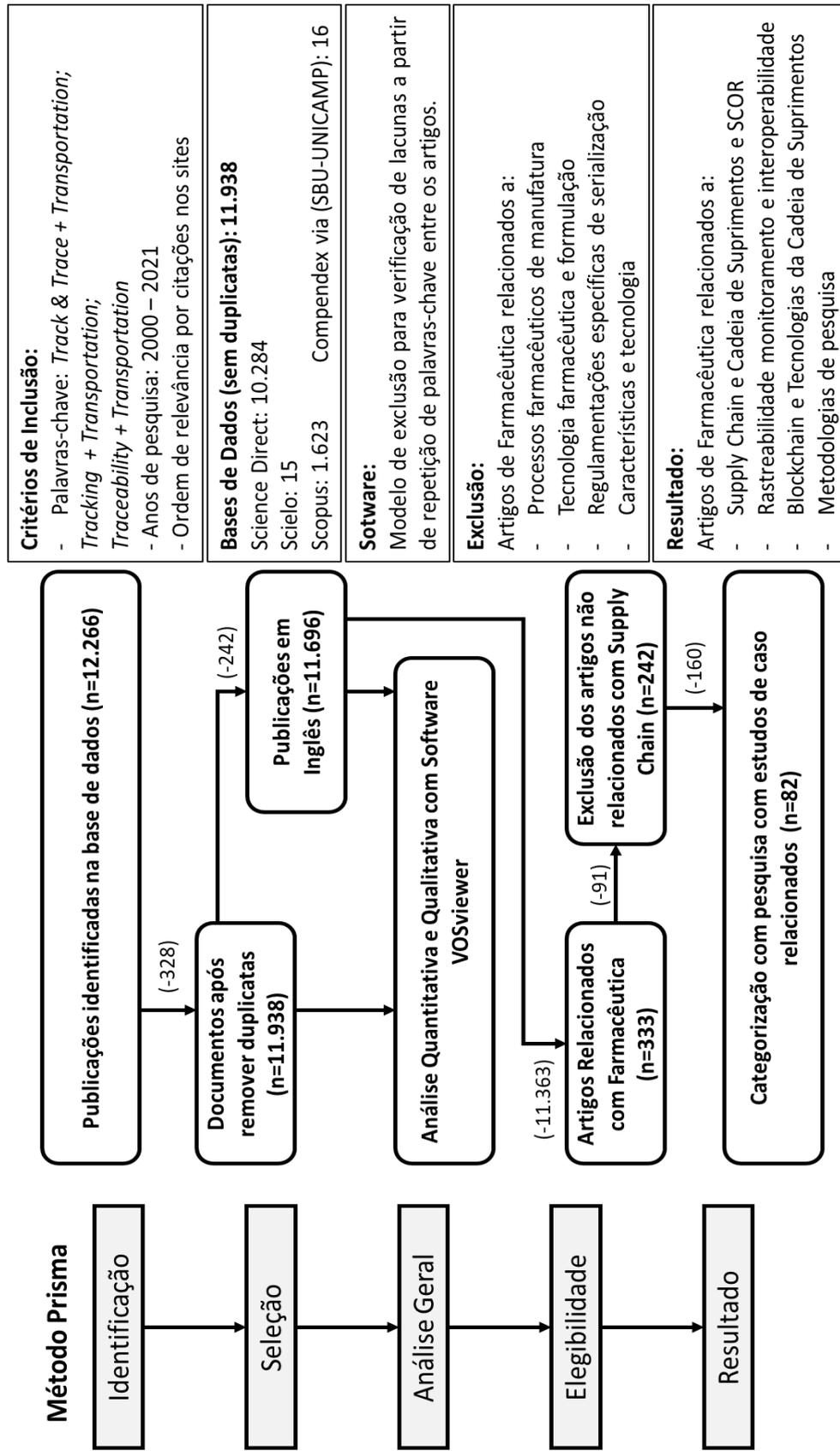
Total:	11.696	Traceability	Tracking	Track & Trace
Science Direct	10.284	3.505	3.950	2.603
Scielo	15	11	4	0
Compendex	16	11	5	0
Scopus	1.623	889	734	0

Todos os artigos extraídos durante a pesquisa estão verificados com base no critério de inclusão e alguns deles são selecionados para uma leitura minuciosa no sentido de entender se o conteúdo é realmente relevante e adequado para responder à pergunta de pesquisa. A leitura garante que não exista viés nos trabalhos selecionados. Toda informação é organizada, sintetizada e interpretada para seguir com a execução das próximas etapas do trabalho.

A seleção final dos artigos para utilização de referencial teórico para a realização do trabalho é realizada somente após o entendimento da distribuição dos trabalhos em torno da análise inicial e para isso aplica-se a abordagem apresentada por Sharma, (2020) organizando o processo a partir da identificação dos documentos, seleção, análise geral, elegibilidade e resultados do processo, conforme ilustrado na Figura 38.

O resultado da organização e levantamento de material de pesquisa mostra o caminho entre o volume total de publicações levantados com as palavras-chave de pesquisa entre os anos de 2000 a 2021 de 12.266 documentos até a lista final de 82 artigos que serão analisados para composição do referencial teórico desse trabalho.

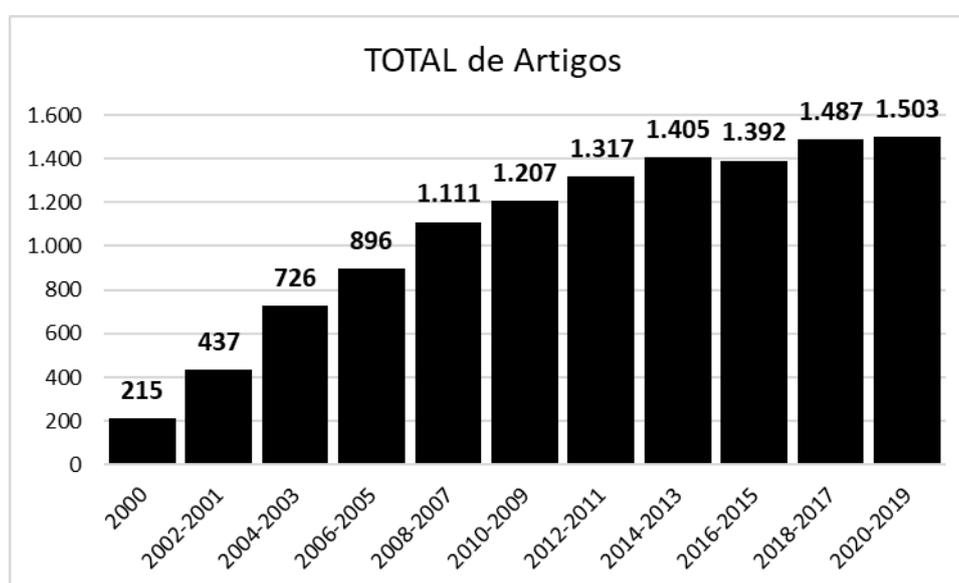
Figura 38 - Racional de seleção de artigos



Baseado no método Prisma de Sharma (2020).

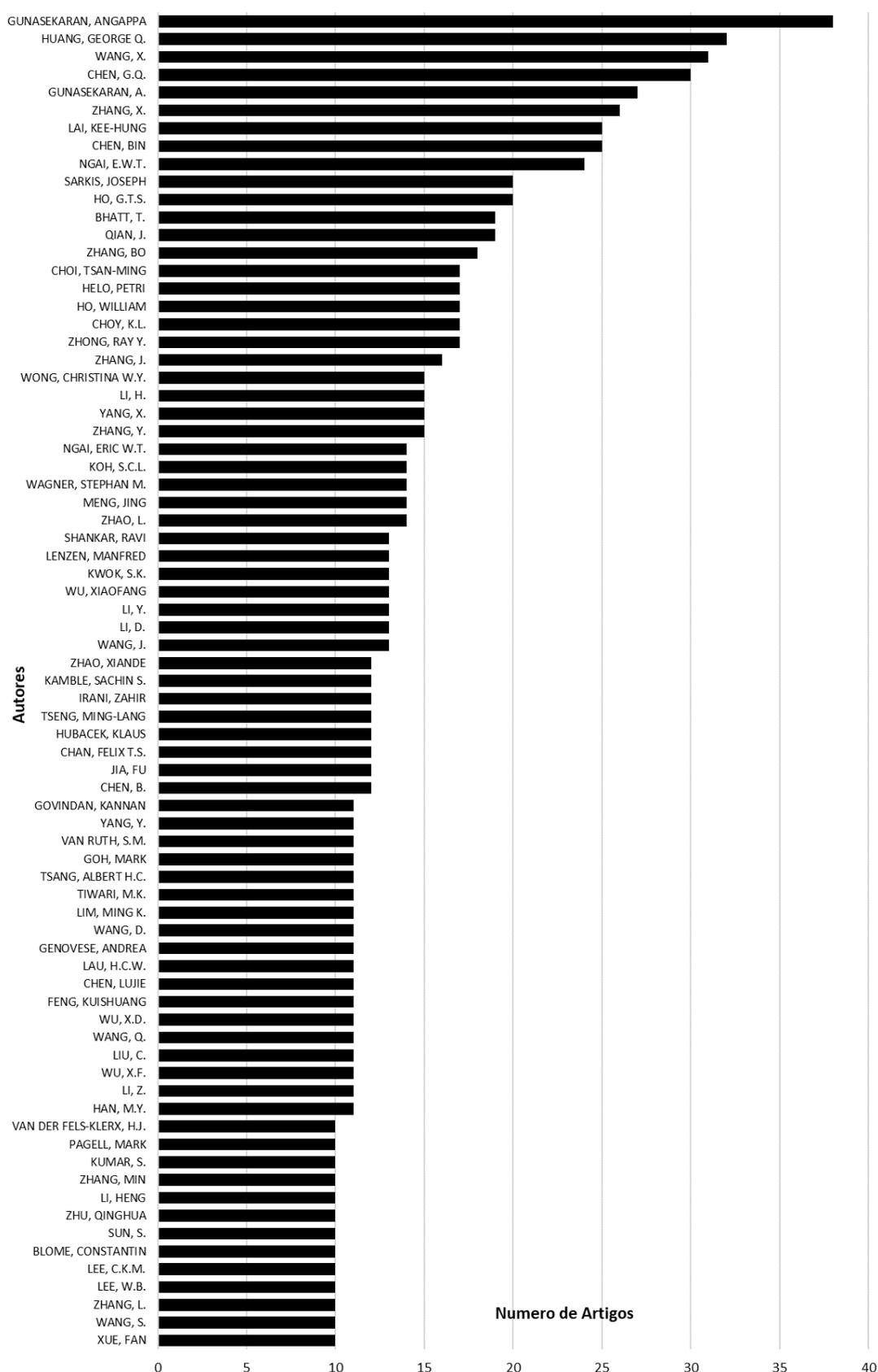
No volume total de artigos, a distribuição por ano de publicação mostra que o número de artigos contendo as palavras-chave selecionadas nesse estudo aumenta nos últimos dez anos. Esse comportamento está em linha com o desenvolvimento de novas tecnologias e o aumento das necessidades da cadeia de suprimentos de atingir maiores níveis de responsividade, flexibilidade e custos (MOKHESENG *et al.*, 2017).

Figura 39 - Total de artigos publicados por ano na base da pesquisa em inglês.



Os artigos foram também organizados por autoria de modo a mostrar a distribuição de publicações por autor e o entendimento dessa análise é que a maioria dos artigos está concentrada em poucos autores conforme apresentado na figura 40. A base de dados selecionada apresenta 268 autores diferentes, dos quais apenas 75 deles possuem 10 ou mais artigos publicados que estão em linha com o critério de seleção.

Figura 40 - Número de artigos publicados por autor.



O próximo passo é o processamento de todos os artigos no software bibliométrico VOSviewer criado por Nees Jan van Eck e Ludo Waltman do *Centre for Science and Technology Studies of Leiden University* – na Holanda. Trata-se de um software para visualização de redes bibliométricas, incluindo redes de coautoria, citações, e co-ocorrência de palavras-chave. A ferramenta pode ser usada por exemplo para fornecer um panorama visual da maneira como os estudos científicos estão organizados e a maneira como eles se desenvolvem ao longo do tempo.

Nesse software, pode-se observar o resultado da combinação de diferentes dados bibliométricos a partir de uma base de dados combinada por palavras-chave, citações de autores em uma base de milhares de artigos e entender como eles se relacionam entre si. Adicionalmente é possível identificar no tamanho dos círculos gerados no resultado a partir da contagem de palavras-chave feita pelo software, e as combinações mais comuns e menos comuns de palavras-chave e tópicos de pesquisa.

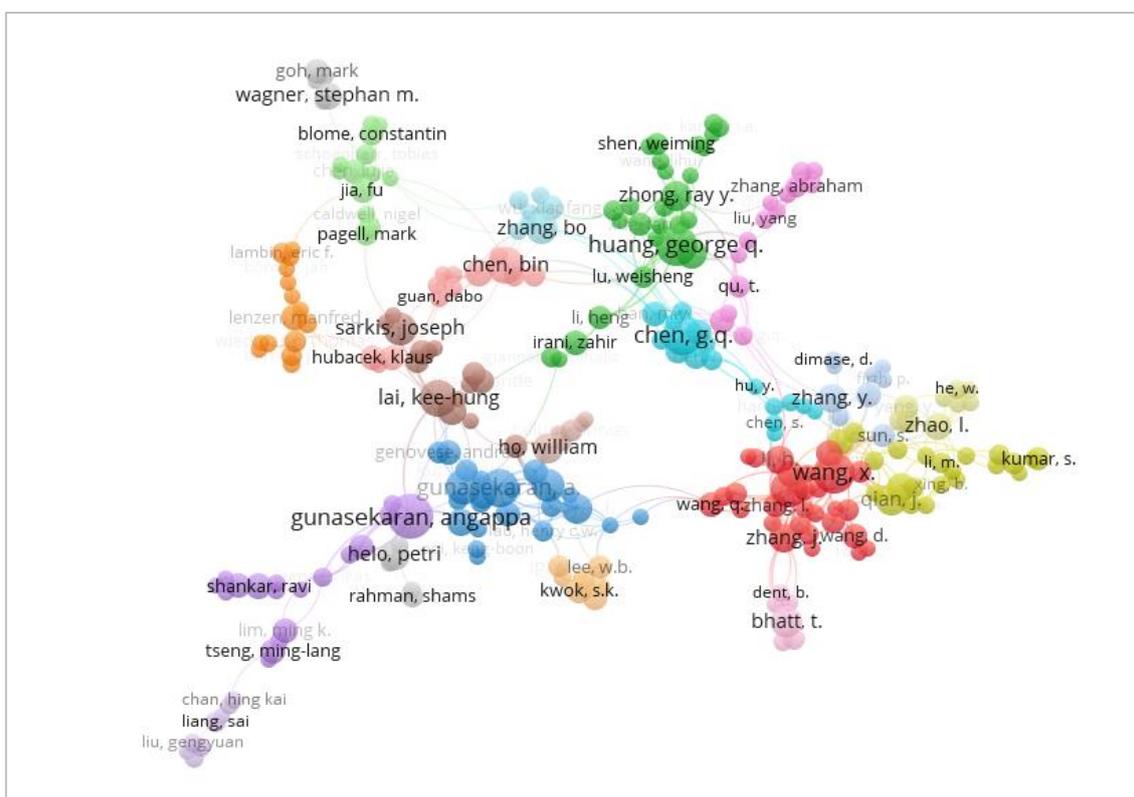
A partir do levantamento dos artigos, realiza-se uma análise das palavras-chave encontradas esses artigos no software Vosviewer, para cada combinação de palavras. Como critérios de análise, foram escolhidos a co-ocorrência de palavras-chave e a contagem fracionada. O primeiro critério justifica-se pelo objetivo principal da análise, que é observar a relação entre as palavras-chave nos artigos selecionados. O segundo critério tem como fundamentação o fato de que a análise não deve se enviesar, ou seja, autores que tenham feito artigos similares, com as mesmas palavras-chave, devem ser incluídos na análise de maneira diferenciada, com menor peso na formação dos clusters.

Assim, para cada busca, gera-se um mapa cujos clusters representam as palavras-chave e, quanto maiores os clusters, maior o número de incidência de cada palavra-chave em uma dada busca, com seus devidos filtros e restrições; cada cluster, para ser gerado, deve contar com a ocorrência mínima de quatro palavras-chave para existir. Com esses mapas gerados, é possível observar as relações mais fortes com as palavras-chave escolhidas, o que direciona a escolha de indústria – que no caso foi a farmacêutica por haver links fracos com esse setor, significando a pouca exploração do tema dentro do universo de materiais levantados na pesquisa e, ao mesmo tempo que entende-se uma grande oportunidade de atuação do Blockchain pela complexidade da cadeia de suprimentos desse setor – entre outros indícios relevantes para a pesquisa, como a

aparição do uso de Blockchain em artigos relacionados a rastreabilidade e monitoramento.

Adicionalmente, a análise verifica duas maneiras de conexão: a citação dos autores dentre os artigos da base de dados e a conexão entre as palavras-chave dos artigos para comparação com a pergunta de pesquisa. Cada uma das avaliações permite um entendimento diferente sobre a distribuição dos estudos propostos por esta etapa do trabalho e sugere de maneira complementar, uma opção de aprofundamento nos termos de exploração do tema desse trabalho. O resultado da primeira análise considerando a conexão entre os autores por citação é apresentada na Figura 41.

Figura 41 - Conexão de autores por citação.



Criado com VOSviewer.

É possível observar que os autores com maior número de conexões são representados pelos círculos maiores na figura, proporcionais ao número de conexões representados pelas citações dentro dos demais artigos da base de dados. Quanto maior o círculo, maior é o número de ocorrências no critério selecionado. Os autores com maior

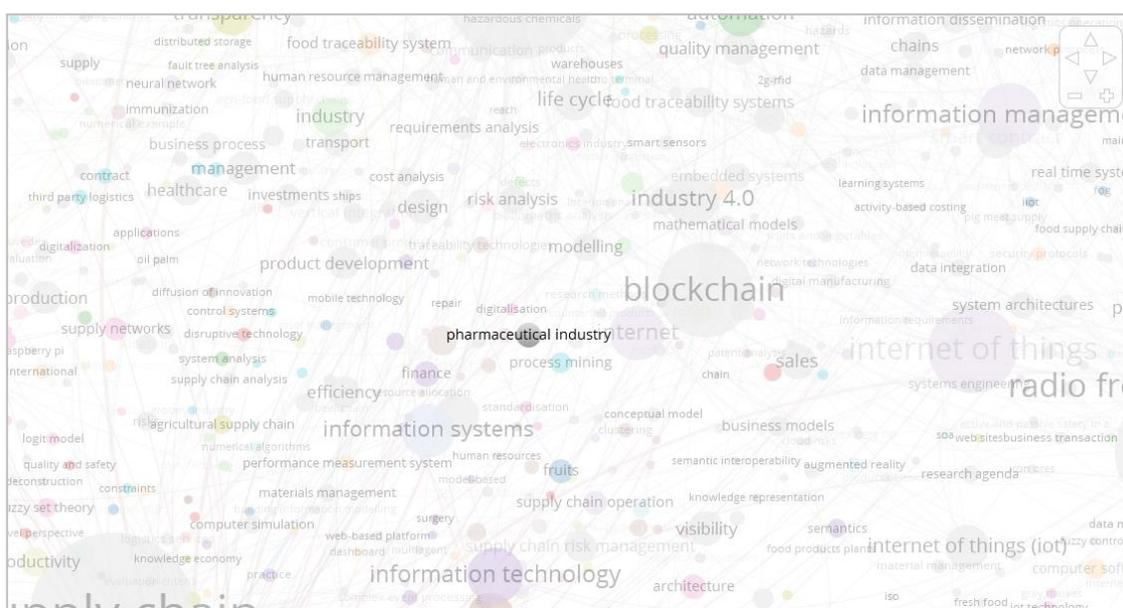
volume de artigos vistos na Figura 40 apresentam também uma conexão mais forte nessa análise e os 10 autores mais citados são apresentados no Quadro 20.

Quadro 20 – Os 10 autores mais citados na base de dados.

Autor	Universidade	Descrição	(continua)
Angappa Gunasekaran	Professor na California State University	Total de 51.805 citações na carreira e 28.394 desde 2016.	65 artigos na base de dados publicados com seus alunos.
George Q. Huang	Professor na University of Hong Kong	Total de 19.687 citações na carreira e 10.310 desde 2016.	32 artigos na base de dados publicados com seus alunos.
Xiaojun Wang	Professor na University of Bristol	Total de 3.799 citações na carreira e 3.138 desde 2016.	31 artigos na base de dados publicados com seus alunos.
Guoqian Chen	Professor na Peking University	Total de 11.988 citações na carreira e 6.564 desde 2016.	30 artigos na base de dados publicados com seus alunos.
Xiang ZHANG	Professor na University of Hong Kong	Total de 94.667 citações na carreira e 53.605 desde 2016.	26 artigos na base de dados publicados com seus alunos.
Bin Chen	Professor na New Jersey Institute of Technology	Total de 899 citações na carreira e 747 desde 2016.	25 artigos na base de dados publicados com seus alunos.
Kee-hung Lai	Professor na The Hong Kong Polytechnic University	Total de 22.769 citações na carreira e 13.671 desde 2016.	25 artigos na base de dados publicados com seus alunos.
EWT Ngai	Professor na The Education University of Hong Kong	Total de 26.410 citações na carreira e 13.526 desde 2016.	24 artigos na base de dados publicados com seus alunos.

nesse trabalho. Tal fato mostrado na Figura 44 sugere um caminho de aprofundamento e exploração de uma possível conexão nesse tema.

Figura 44 - Citações de palavras-chave. Grupo Pharmaceutical Industry.



Elaborado no VOSviewer.

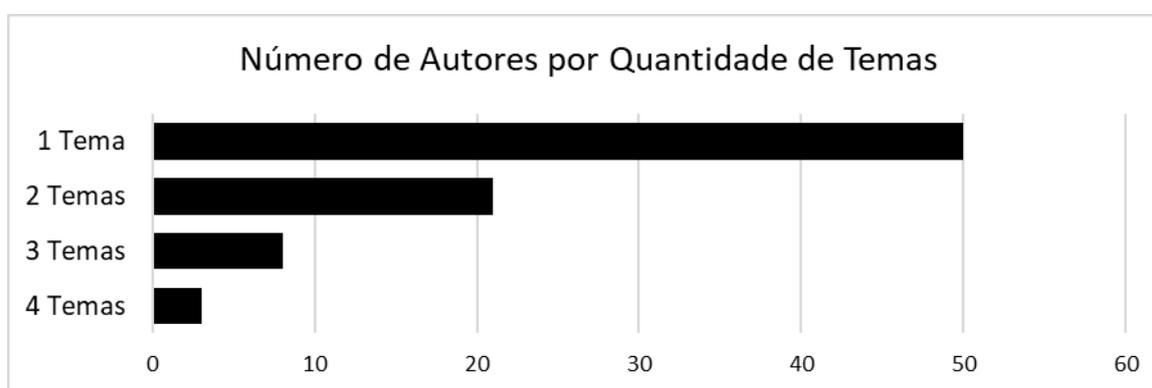
Após a verificação de todas as figuras geradas, dentre as diferentes áreas de aplicação de tecnologia, observa-se uma oportunidade de desenvolvimento do trabalho na indústria farmacêutica, visto que dentre as combinações *Supply Chain Management*, *Blockchain*, *Supply Chain*, *Traceability* e *Transportation*, vemos claramente na Figura 44 que não existe nenhuma ligação forte que mostre um estudo recente na base de dados utilizada conectando *Supply Chain Management*, *Blockchain* e *Pharmaceutical Industry*. Essa baixa relação entre os assuntos mostrada na Figura 44 confirma a importância do estudo realizado nesse trabalho.

Adicionalmente, referências adicionais são utilizadas para sustentação desse trabalho utilizando-se da metodologia apresentada e filtragem dos documentos coletados com base nos assuntos e temas relacionados com o problema de pesquisa. As palavras-chave na seleção e filtro dos documentos a serem utilizados como base para o referencial teórico do trabalho e estruturação do racional técnico para pesquisa são: *Cadeias de*

Suprimento, Supply Chain, SCOR, Interoperabilidade, Tecnologias da Cadeia de Suprimentos, Blockchain, Farmacêutico, Rastreabilidade e Metodologias.

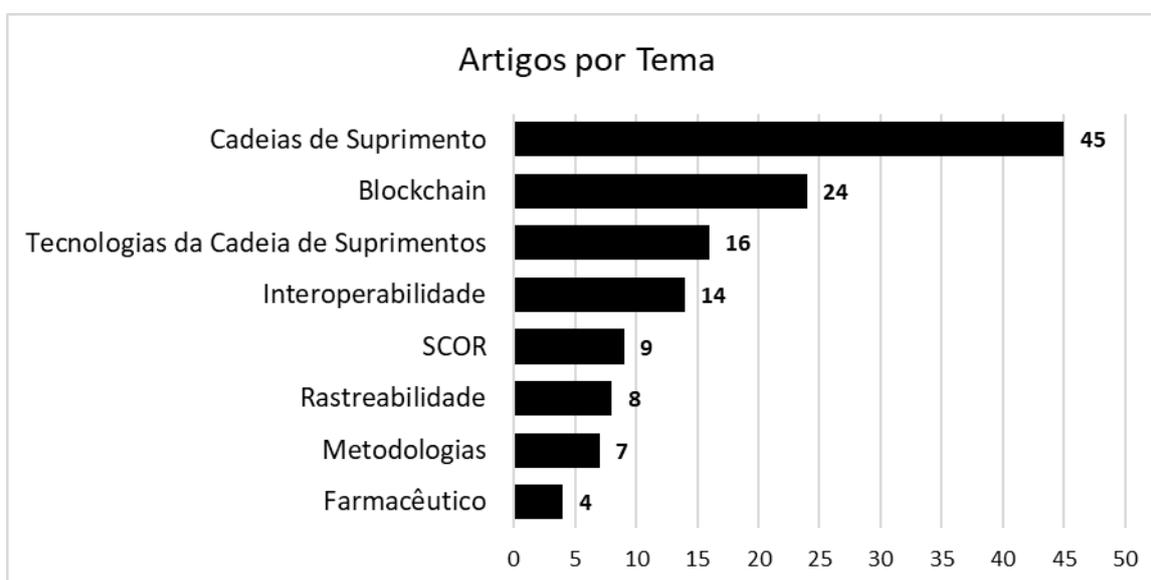
Um total de 82 autores são selecionados para compor o referencial teórico participam da construção do trabalho com um ou mais temas relevantes para a fundamentação teórica da pesquisa conforme ilustrado na Figura 45, que também mostra a distribuição de quantidade de temas por autor considerado para esse trabalho.

Figura 45 - Distribuição do número de temas por autor.



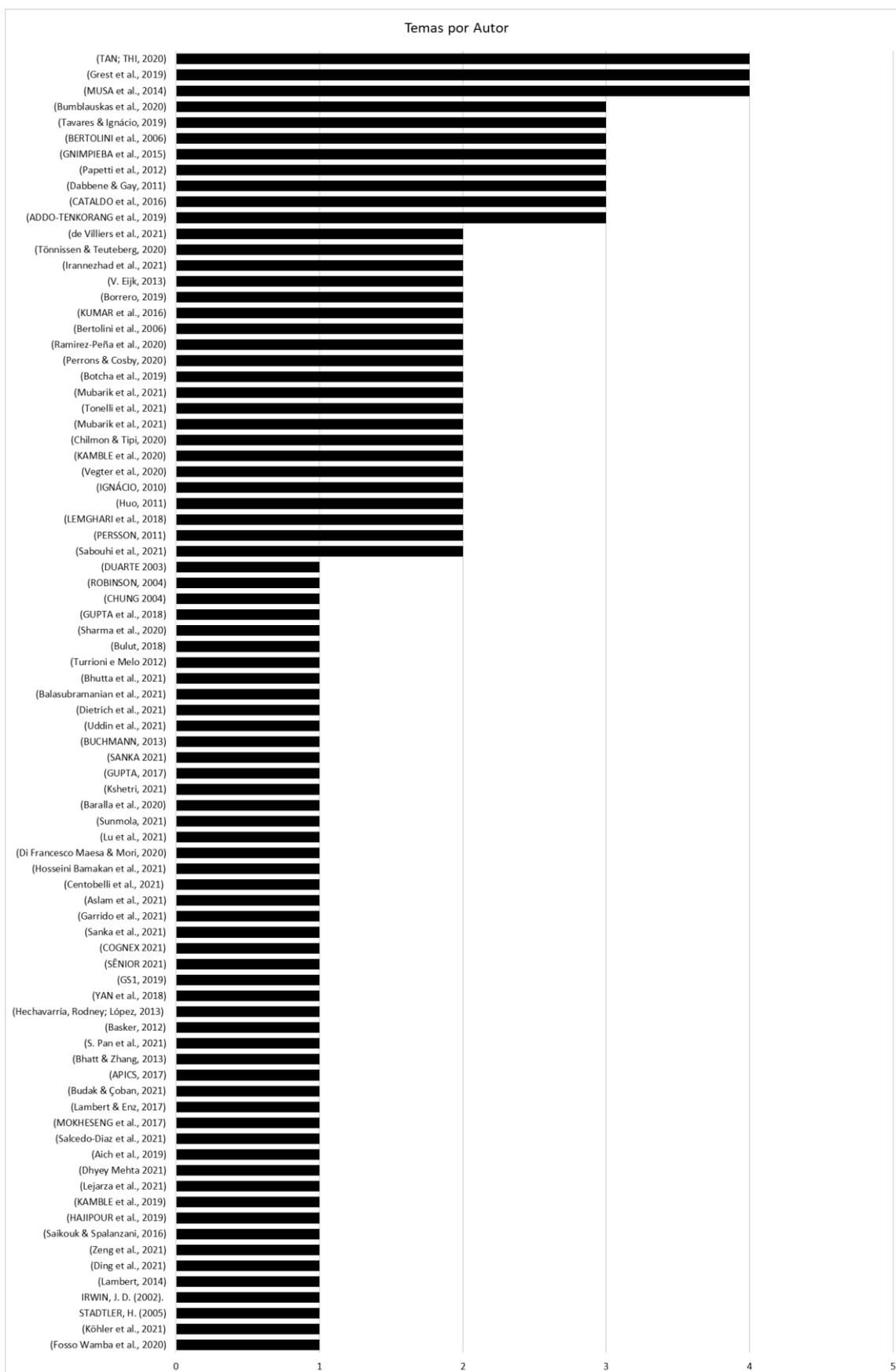
Os temas utilizados na pesquisa para estruturação do conteúdo da fundamentação teórica foram organizados em *Cadeias de Suprimento, Supply Chain, SCOR, Interoperabilidade, Tecnologias da Cadeia de Suprimentos, Blockchain, Farmacêutico, Rastreabilidade e Metodologias* como anteriormente informado e a distribuição dos autores considerando a abordagem de mais de um tema distinto em um mesmo artigo publicado se deu conforme Figura 46.

Figura 46 - Distribuição do número de autores por tema.



Observa-se que o tema Cadeias de Suprimento por ser a área principal do trabalho recebe um volume muito mais denso de trabalhos e publicações relevantes para construção da delimitação do assunto, justificativa e cobertura de todo o cenário trabalhado de modo a garantir que todas as características e detalhes relevantes sejam em sua maioria apresentados e sustentados dentro das limitações desse trabalho. Adicionalmente observa-se que Blockchain, Tecnologias da Cadeia de Suprimentos e Interoperabilidade estão fortemente presentes no volume de material considerado, pelo mesmo motivo. As especificidades da metodologia SCOR, detalhes de rastreabilidade e a delimitação do segmento farmacêutico nesse trabalho demonstram alinhamento com a análise realizada pelo software VOSviewer.

Figura 47 - Distribuição do total de temas por autor.



4.1.2. Mapeamento da Cadeia de Suprimentos

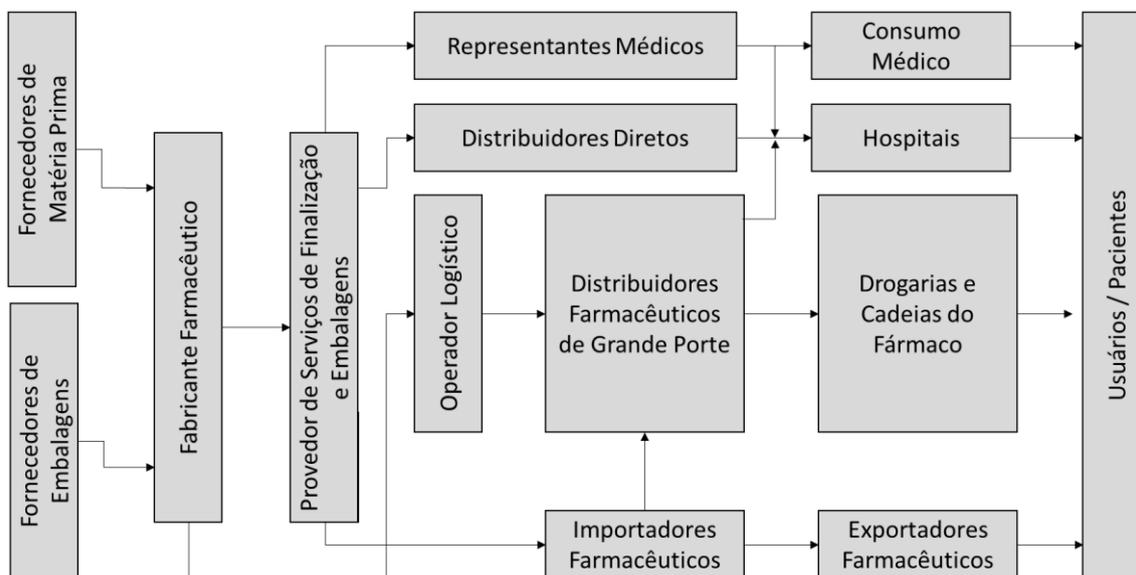
O mapeamento de uma cadeia de suprimentos mostra o fluxo de produtos e informações presentes no negócio de uma empresa e estão orientados em processos organizados em suprimentos (Source), produção e manufatura (Make) e distribuição (Deliver) possuindo a maioria dos processos indicados na metodologia SCOR para execução das atividades necessárias para o atendimento do mercado consumidor permitindo que as variáveis e critérios utilizados estejam em linha com a realidade das cadeias de suprimento farmacêuticas.

A indústria farmacêutica tem sido um dos ambientes mais desafiadores em termos de adoção de novas tecnologias para ampliação de capacidade de produção, controle de processos e transparência. Adicionalmente, alguns governos forçam o aumento de transparência de informação através de suas agências regulatórias, aumentando a necessidade de registros, rastreabilidade e desenvolvimento de novas ferramentas e técnicas gerenciais nesse sentido (EL MOKRINI et al., 2016).

As empresas farmacêuticas estão enfrentando constantemente novos desafios em seus negócios diariamente e necessitam de adaptação rápida para a gestão da demanda crescente e complexa do mercado global em que estão inseridos. O encurtamento da vida útil das patentes aumenta a ameaça da concorrência a partir da criação de medicamentos genéricos fabricados por empresas concorrentes forçando as companhias a focar em suas competências principais incluindo o desenvolvimento de uma logística e cadeia de suprimentos em nível de excelência de modo a performar melhor nesse ambiente (EL MOKRINI et al., 2016).

O crescimento constante do negócio farmacêutico ao redor do mundo nos últimos anos uma necessidade maior de criação de mecanismos de proteção a fraude e pirataria de drogas e medicamentos, incluindo produção e distribuição em diferentes cadeias de suprimento ao redor do mundo. A adoção de tecnologias inovadoras combinadas com a serialização de produtos no processo de produção se tornou ainda mais comum e permite a construção de informação de um grande volume de produtos movimentados através de uma cadeia de suprimentos de abrangência mundial (CHIACCHIO et al., 2020).

Figura 48 - Modelo genérico de uma cadeia de suprimentos farmacêutica.



Adaptado de (PAPERT et al., 2016).

A cadeia de suprimentos farmacêutica é composta de diversas conexões no processo de transformação do produto que incluem empresas especialistas em cada uma das etapas de transformação. Fornecedores de matéria prima, incluindo APIs e grânéis sólidos, fornecedores de embalagens primárias de todos os tipos e formatos, embalagens secundárias e bulas abastecem a cadeia de suprimentos farmacêutica despachando seus produtos a partir de diferentes localizações geográficas, muitas delas internacionais conforme Figura 48 (PAPERT et al., 2016)

A análise a nível macro a partir das interações identificadas no mapeamento foram especificadas e detalhadas, permitindo a simulação de maneira adequada e o funcionamento técnico da simulação conforme demonstrado nos blocos gerados leva à sugestão de aplicação em outros modelos de cadeia de suprimentos.

Essas especificações se deram na escolha de parte do fluxo da cadeia para permitir que a simulação fosse completa considerando os processos de *source, make, deliver*, demonstrando a interoperabilidade da cadeia entre esses elos, fornecedores, fabricantes, distribuidores e clientes.

Observa-se o início do mapeamento na Figura 48 em que se explora o modelo genérico de uma cadeia de suprimentos farmacêutica. O mapeamento por sua vez não é

detalhado suficientemente para garantir a identificação e o entendimento de todas as atividades executadas entre os agentes e tampouco os modelos e padrões de informações trocadas entre eles. Essa limitação não permite o desenvolvimento correto de uma simulação nem a aplicação do modelo a outras cadeias de suprimentos.

A padronização das atividades e informações é essencial na aplicação do Blockchain pois define como cada um dos agentes da comunidade vai receber e ler tudo o que será colocado no Blockchain. Isso traz uma reorganização das interações entre os agentes sugerir a aplicação do modelo em outros negócios.

A produção do produto acabado pode conter mais de uma etapa em uma ou mais fábricas distintas do mesmo fabricante, ou utilização de uma manufatura externa para conversão e preparação do produto em embalagem final. Os produtos acabados geralmente são destinados diretamente a um operador logístico especializado em cadeia farmacêutica que possui todos os requisitos necessários perante as autoridades sanitárias para manter a qualidade e segurança do produto durante os processos de armazenagem e distribuição (PAPERT et al., 2016).

A distribuição pode ser direta no caso de abastecimento de serviços de saúde e hospitais, distribuição de amostras médicas e canais de exportação ou através de grandes distribuidores que atendem a partir da sua rede diversas drogarias até chegar ao consumidor final (PAPERT et al., 2016).

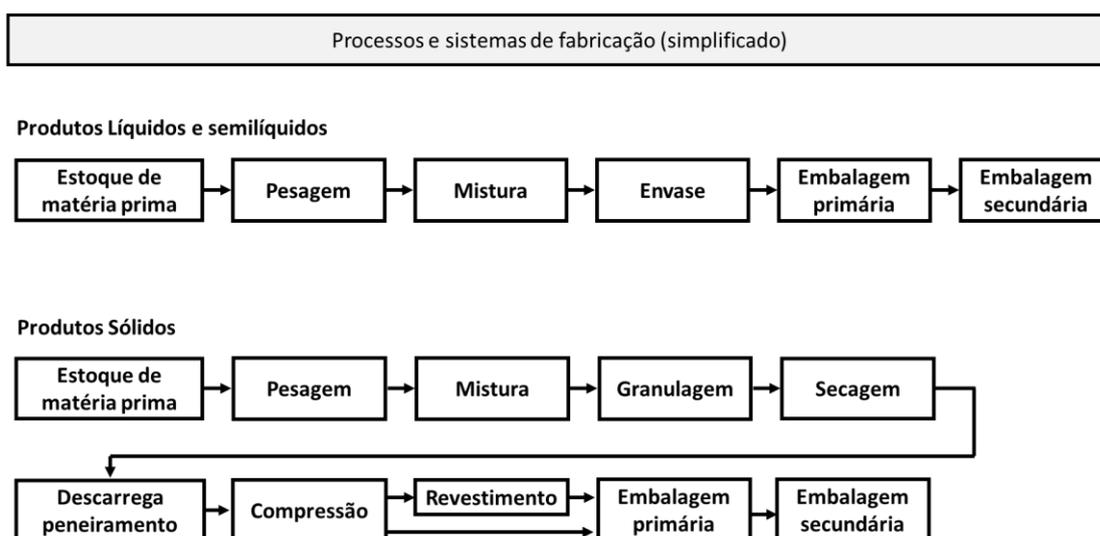
Em dado momento, foi realizada uma visita em uma empresa farmacêutica para acompanhamento do processo produtivo e observação da cadeia de suprimentos de modo a garantir que os detalhes do modelo utilizado para proposta desse trabalho estejam em linha com a realidade da maioria das empresas que compõem uma cadeia de suprimentos farmacêutica.

O processo de manufatura farmacêutica começa com a seleção da matéria prima, Ingrediente de princípio ativo, API – *Active Pharmaceutical Ingredient*, excipientes, que são compostos químicos misturados ao API para adequação das dosagens de princípio ativo utilizados no processo de manufatura, e por último, componentes como cápsulas, flaconetes, ampolas, e materiais de embalagens para atender todos os requisitos regulatórios que determinam os padrões de cada tipo de produto protegendo a vida do consumidor, meio ambiente e sociedade (DING, 2018).

A cadeia de suprimentos farmacêutica pode conter diferentes empresas do mesmo grupo e terceiros para fornecimento de princípios ativos (APIs), granéis e produtos acabados e parceiros estratégicos trabalham complementando o portfólio com cápsulas gel, manufatura e outros, representando muito bem a complexidade do mundo farmacêutico para adoção nesse trabalho e obtenção de informações não confidenciais relevantes para execução do trabalho com a qualidade necessária para contribuição com a academia.

A estrutura de produção de uma empresa farmacêutica é fisicamente semelhante a um laboratório gigante com salas isoladas em cada uma das etapas de manufatura, exigindo com que os produtos sejam muito bem acondicionados e embalados para movimentação entre os estágios do processo produtivo sem nenhum tipo de contaminação. O fluxo produtivo é movimentado em bateladas até chegar ao processo de embalagem primária, em que linhas automatizadas fazem o acondicionamento dos medicamentos nas devidas embalagens com alta velocidade e produtividade conforme Figura 49. Todas as informações de processamento dos lotes são colhidas e armazenadas em um sistema interno para rastreabilidade do processo e possível auditoria futura.

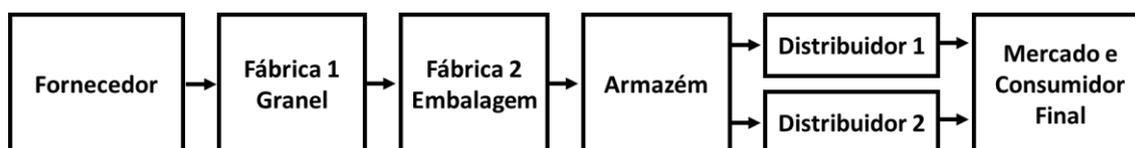
Figura 49 - Processos de fabricação de medicamentos.



O mapeamento básico da cadeia de suprimentos farmacêutica observada inicia-se pelo macro processo, para identificação das etapas de fabricação dos produtos e

fornecimento de uma visão sistêmica dos processos para aprofundamento do estudo e definição dos modelos para aplicação da nova abordagem (Figura 50).

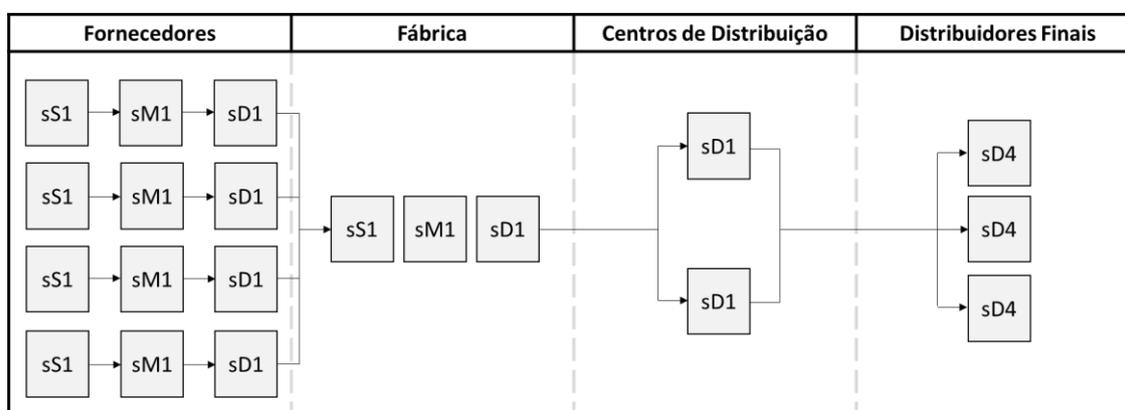
Figura 50 - Mapeamento básico do processo de fabricação



Nesse sentido, a transformação desse mapeamento, traduzindo o modelo em SCOR, transforma todo o trabalho na Figura 51. Esse modelo permite a visualização clara e entendimento correto das interações entre os agentes da cadeia de suprimentos, identificação dos processos, atividades e formato de informação trocada entre cada um dos agentes. O detalhamento permite a realização do desenho dos processos da cadeia de suprimentos com a identificação das informações, variáveis, critérios, formatos, no nível de detalhe que permite entender e definir como cada um dos lados vai disponibilizar e receber as informações.

A cadeia de suprimentos farmacêutica mapeada no primeiro nível do SCOR mostra os processos e a interação dos participantes da cadeia de nível macro. Entender a configuração dessa cadeia de suprimentos é importante para o detalhamento da mesma durante o estudo da proposta deste trabalho.

Figura 51 - Mapeamento macro dos processos no modelo SCOR.



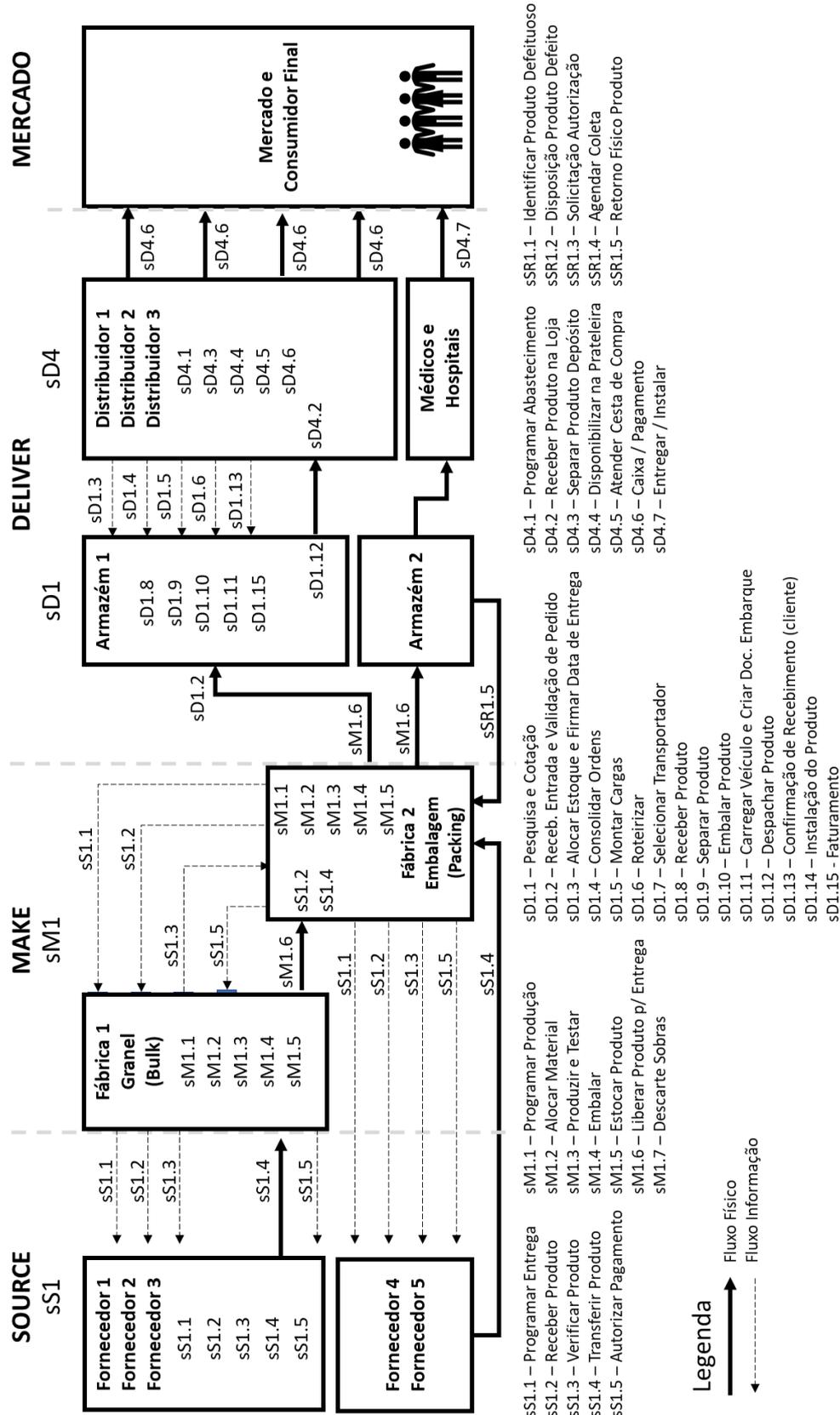
Os diferentes fornecedores da cadeia de suprimentos farmacêutica são agrupados dentro dos mesmos processos SCOR de fornecimento, e dentro de sua própria operação possui processos Source, Make e Deliver direcionando as atividades de abastecimento, manufatura e entrega respectivamente. A etapa de fabricação, possui a mesma configuração na ótica do SCOR em primeiro nível.

O detalhamento da cadeia de suprimentos farmacêutica a partir da ótica do SCOR permite a identificação das atividades de nível 2 e 3 incluindo a indicação dos pontos importantes para troca de informações entre cada um dos participantes da cadeia de suprimentos conforme apresentado na Figura 52.

A padronização oferecida pelo modelo SCOR permite a identificação dos fluxos físicos e de informação em todos os modelos de cadeia de suprimentos de ponta a ponta a partir das atividades desenhadas para realização das operações nos macro processos *Source, Make, Deliver, Return e Plan*.

Os modelos atuais de operação de uma cadeia de suprimentos encontrados nas empresas são modelos lineares e limitados pelas restrições da própria cadeia de suprimentos, com limitações diferenciadas entre cada um dos parceiros da cadeia, que sistemicamente resultam em um nível específico de flexibilidade e responsividade. Ao processo logístico farmacêutico se somam as exigências e regulamentações das agências de saúde e agências sanitárias globais e regionais de acordo com cada mercado.

Figura 52 - Cadeia de suprimentos farmacêutica com processos SCOR. Fluxos Físico e Informações Lineares



O modelo SCOR oferece ferramentas padronizadas e metodologia, diagnóstico e *Benchmarking* para que as empresas possam realizar melhorias de impacto e com velocidade em seus processos de *Supply Chain* e não apresenta instruções detalhadas de como desenhar uma cadeia de suprimentos, e de como mapear e identificar os processos e pontos de informação. Na pesquisa bibliográfica, observamos que diversos autores utilizam o SCOR como referência para a cadeia de suprimentos, mas dentro do grupo pesquisado, não foram encontrados autores cuja abordagem tenha sido feita de maneira aprofundada e detalhada aumentando o espaço para contribuição desse trabalho.

Pode-se observar claramente a diferença entre uma cadeia de suprimentos mapeada em SCOR com uma cadeia de suprimentos mapeada sem nenhum padrão de referência quando se compara as Figuras 48 e 52. A Figura 48 representa o mapeamento de uma cadeia de suprimentos feita em diagrama de blocos de maneira simplificada e sem a utilização de SCOR. A falta de padronização das atividades coloca em risco a identificação das operações envolvidas no estudo e não colabora para a construção de interoperabilidade entre as fases podendo permitir pequenas rupturas ou desconexões no fluxo de informações de uma cadeia de suprimentos complexa.

O detalhamento da cadeia de suprimentos farmacêutica avaliada na ótica do SCOR mostra uma abordagem mais completa das interações e auxilia na identificação dos pontos de contato entre o mundo físico na geração das informações e o mundo digital para entrada das informações no Blockchain. Existe a necessidade de identificação dos fluxos de informação que são originados e alimentados pelos processos do SCOR. Esses fluxos são importantes do ponto de vista de mapeamento da informação e necessários para determinação do modelo proposto pelo trabalho.

Na indústria farmacêutica existe uma grande necessidade de controle do processo de produção para garantia dos padrões de qualidade do produto e segurança do usuário e da sociedade. Para isso é utilizado em todas as indústrias o *Batch Record* que é o registro de nascimento de todo o produto com o histórico do processo de transformação completo.

O *Batch Record* é o documento principal de registro da operação de produção de um produto e deve conter o histórico de fabricação passo a passo incluindo todas as verificações e medições de processo e qualidade em cada uma das etapas do processo de fabricação, considerando local, equipamento, regras de manufatura, rota de fábrica, equipamentos utilizados, materiais utilizados, quantidades alimentadas com parâmetros

reais, identificação dos operadores e assinatura ou rubrica dos colaboradores que fiscalizam e auditam o processo.

Adicionalmente, informações constantes nas etiquetas de identificação dos materiais utilizados no processo de transformação, informações e identificadores de laudos de qualidade de itens intermediários ou semiacabados utilizados no processo são considerados. Os parâmetros de processo como temperatura, velocidade de agitação, velocidade de compressão e outros atributos são fundamentais na execução da receita de produção e devem compor o registro.

A coleta de informação para composição do *Batch Record* pode ser feita manualmente ou automaticamente dependendo do nível de tecnologia e automação empregado na fábrica, devem ser validados e por boas práticas devem obrigatoriamente ser verificados por um operador responsável.

Ao final do lote de produção existe um registro de rendimento final do lote considerando peso ou unidades produzidas e uma comparação com a expectativa teórica de produção, efetua-se uma reconciliação e ajuste de saldos das embalagens e adicionado uma via do laudo de qualidade com análise laboratorial incluindo testes microbiológicos se necessário.

As informações consideradas no processo são essenciais para a composição dos registros de produção e manufatura dos produtos e são disponibilizadas de início pelos fornecedores, incluindo dados sobre as condições de fabricação, formulação e demais informações confidencialmente controladas pelas empresas que garantem o atendimento dos requisitos regulatórios de qualidade de cada um dos fornecimentos.

O recebimento de matéria primas e componentes de fornecedores pode ser iniciado com a disponibilização das informações técnicas pertinentes a cada um dos lotes e gravado em um primeiro estágio da cadeia de suprimentos em um bloco de informações na Blockchain que será disponibilizado para os próximos níveis da cadeia de suprimentos de maneira imediata e permissionada garantindo a integridade dos dados, transparência na informação e respeito às normas de confidencialidade e compliance na gestão da informação.

As etapas seguintes incluindo recebimento, separação e manipulação ou fabricação terão acesso antecipadamente às informações antes da chegada dos próximos

lotes enviados pelos fornecedores. As informações permitirão uma preparação mais adequada dos fluxos de materiais e melhor processamento dos lotes a partir das possibilidades de identificação antecipada de desvios e possíveis ajustes internos para aprovação dos lotes de produção ao final da primeira fase.

A produção do granel gera diversas informações que podem ser armazenadas em tempo real nos próximos blocos garantindo a rastreabilidade das informações a partir do fracionamento dos produtos recebidos em diferentes dosagens e combinações, complementando os blocos de informação disponíveis no Blockchain com transparência para os passos posteriores da cadeia de suprimentos.

Após a finalização da primeira parte de produção, o granel, os dados coletados de produtos semiacabados são incluídos no Blockchain junto com os demais dados originados no *Batch Record* garantindo a disponibilidade da informação de acordo com o *Smart Contract* oferecendo aos demais participantes da rede as informações pertinentes de acordo com as normas de confidencialidade e compliance da empresa.

A próxima etapa é a finalização do produto, ou embalagem, momento em que o produto é acondicionado em blisters, vidros, caixas, etc. em uma apresentação que já deve chegar ao consumidor final. Essa etapa normalmente é uma operação com maior grau de automação e velocidade de processamento e deve garantir a limpeza e qualidade dos produtos e embalagens conforme as normas das agências de regulação sanitária.

As embalagens finais e bulas são inseridas nessa etapa do processo. Dados das máquinas como velocidade de avanço, rejeitos e diferenças de peso devem ser também registradas no *Batch Record* de acordo com as mesmas normas regulatórias e de confidencialidade e *compliance* da empresa.

A saída desse processo entrega os produtos já embalados, encaixotados e paletizados para seguir ao centro de distribuição e um papel importante da rastreabilidade se dá aqui, que é a consolidação das informações de cada um dos lotes nos paletes utilizados incluindo a separação dos lotes e disponibilização das informações, combinando com números de série de fabricação quando aplicável, composição de lotes e datas de vencimento.

A partir da armazenagem do produto inicia-se a operação de atendimento do mercado a partir de distribuidores, que podem já ter recebido antecipadamente as

informações dos lotes processados e armazenados de acordo com sua demanda, acordo comercial vigente ou condição específica de negócio, incluindo compartilhamento de informações de hospitais e demais agentes de saúde que podem receber os produtos. A transparência controlada do processo em todas as etapas permite uma preparação da cadeia de suprimentos antecipadamente a qualquer tipo de evento ou ruptura de abastecimento respeitando e garantindo a segurança da informação.

A próxima etapa é o fracionamento da informação e dos produtos nos processos de distribuição, visto que para abastecimento do consumidor final em farmácias e pequenos centros de saúde, é necessário o fracionamento dos pallets e caixas intermediárias para atendimento de volumes unitários aos pacientes. O fracionamento dos produtos gera novos registros no Blockchain de modo a garantir a rastreabilidade do produto até o momento da terminação do produto na cadeia de suprimentos que se efetiva com a saída do produto da farmácia após a compra do cliente final ou após a aplicação do produto em um tratamento de saúde em um posto ou hospital.

O fluxo físico de produtos na cadeia de suprimentos farmacêutica deve permanecer linear em um primeiro momento devido às restrições físicas relacionadas aos centros especializados e licenciados para realização do processo de fabricação dos medicamentos, homologação, protocolos sanitários vigentes e autorização de comercialização nos mercados da empresa.

4.1.3. Coleta de Análise de Dados

Para a realização da simulação com base no modelo escolhido, são avaliadas todas as informações relacionadas a variáveis identificadas no Quadro 14 e adaptadas às diferentes operações do modelo, conforme ilustrado no Quadro 21. A atividade escolhida foi o Despacho Fornecedor 1 relacionada a emissão de uma ordem de despacho e emissão de nota fiscal para a atividade.

Quadro 21 - Adaptação das Variáveis no Modelo de Simulação

Variáveis Identificadas na Operação ↓				Variáveis Aplicadas no Modelo ↓
Fornecedor	Produção	Distribuição	Consumo	
ID Fornecedor	Fábrica	ID Distribuidor	ID Consumidor	ID Nota Fiscal
Dados da Transação	<i>Versão</i>	<i>Versão</i>	<i>Versão</i>	Quantidade
<i>Versão</i>	<i>Linha de Produção</i>	<i>Transação</i>	<i>Transação</i>	Preço Unitário
<i>Data e Hora</i>	<i>Operação</i>	<i>ID Nó</i>	<i>ID Nó</i>	Peso Unitário
<i>Recebedor</i>	<i>Operador</i>	<i>ID Parceiro</i>	<i>Produtos</i>	ID Lote
Dados do Material	<i>Data e Hora</i>	<i>Produtos</i>	<i>Quantidades</i>	Produção
<i>Código SKU</i>	<i>Ordem</i>	<i>Quantidades</i>	<i>Data e Hora</i>	ID Turno
<i>Transação</i>	<i>Produção</i>	<i>Condições</i>		Produção
<i>Matéria Prima</i>	Lote	<i>Data e Hora</i>		ID Parceiro
<i>Ingredientes</i>	<i>Versão</i>			ID Carteira do Parceiro
	<i>Número de Lote</i>			
	<i>Transação</i>			
	<i>Operação</i>			
	<i>Versão</i>			
	<i>Produto</i>			
	<i>Operador</i>			
	<i>Data e Hora</i>			
	Unidade de Produto			
	<i>Versão</i>			
	<i>Transação</i>			
	<i>Número de Lote</i>			
	<i>ID produto</i>			
	<i>Operador</i>			
	<i>Data e Hora</i>			

As variáveis resultantes na simulação para a atividade executada dentro da rotina escolhida, estão relacionadas ao número do documento, quantidade de material e lote, executados para um total de três SKUs durante a simulação. Os SKUs possuem quantidades e lotes de fabricação diferentes e foram escolhidos dados aleatórios para cada um dos campos utilizados. Algumas das variáveis foram escolhidas diretamente do Quadro 21 e outras são variáveis criadas na execução do programa e criadas para organização da informação e criação de rastreabilidade. É o caso das variáveis DefBasicas, NSU123ABC, S e R apresentadas no Quadro 22.

Quadro 22 - Variáveis utilizadas na simulação

Variáveis	Descrição
NSU	Identificador numérico da nota fiscal
Quantidade	Quantidade de SKUs
Preco	Preço unitário do SKU
Peso	Peso unitário do SKU
Lote	Identificador numérico do lote de produção do SKU
Turno	Identificador numérico do turno de produção do SKU
DefBasicas	Compilado de informações do SKU (NSU, Quantidade, preco, Peso, Lote e Turno)
NSU123ABC	Compilado de notas fiscais de todos os SKUs (SKU1, SKU2, SKU3, SKUA, SKUB, SKUC)
S	Compilado de notas fiscais dos SKU1, SKU2 e SKU3 representando o Produto 1
R	Compilado de notas fiscais dos SKU3, SKUA e SKUC representando o Produto 2
Fornecedor	Endereço de conta da carteira de criptoativos do Fornecedor
Produtor	Endereço de conta da carteira de criptoativos do Produtor
Distribuidor	Endereço de conta da carteira de criptoativos do Distribuidor
Cliente	Endereço de conta da carteira de criptoativos do Cliente

A execução da simulação na atividade Despacho do Fornecedor necessita de informações relacionadas aos campos criados com base no Quadro 21, as quais foram escolhidas aleatoriamente para execução do programa e criação dos blocos de dados no Blockchain. Os dados utilizados podem ser vistos no Quadro 23.

Quadro 23 - Valores das variáveis adotadas na simulação

Variável	Valor	Descrição
NSU1	25	Identificador (ID) numérico da nota fiscal SKU 1
Quantidade1	50	Quantidade do SKU 1
Lote1	123	Identifocador (ID) numérico do lote do SKU1
NSU2	26	Identificador (ID) numérico da nota fiscal SKU 2
Quantidade2	150	Quantidade do SKU 2
Lote2	358	Identificador (ID) numérico da nota fiscal SKU 3
NSU3	27	Identificador (ID) numérico da nota fiscal SKU 3
Quantidade3	200	Quantidade do SKU 3
Lote3	365	Identificador (ID) numérico da nota fiscal SKU 3

As variáveis escolhidas para a simulação tornam-se os conteúdos dos blocos de dados resultantes da simulação. Tais informações serão trabalhadas e tratadas pelo *Smart Contract*, criptografadas e adicionadas ao Blockchain na simulação.

4.2. Resultados

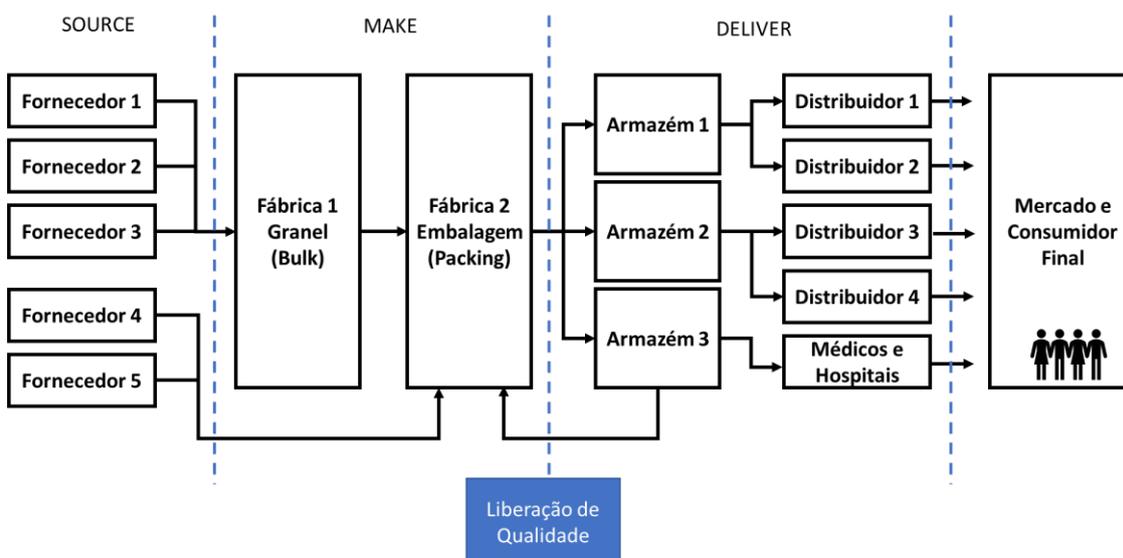
4.2.1. A Construção do Modelo

O modelo aplicado da cadeia de suprimentos está definido com base no entendimento de uma cadeia de suprimentos farmacêutica, que é bastante complexa e possui diversos pontos de conexão de trocas de informações, processos e participantes distintos. Conforme já demonstrado na Figura 52, é possível visualizar uma cadeia de suprimentos farmacêutica que traz uma perspectiva mais abrangente de agentes principais presentes em uma cadeia real. Nesse ponto, destaca-se a importância da escolha do modelo SCOR - *Supply Chain Operations Reference* para classificação confiável das etapas do modelo escolhido considerando e respeitando-se as atividades chave dos macro processos de *Source* (que engloba fontes da matéria prima), *Make* (que engloba processos de transformação da matéria prima e produtos) e *Deliver* (que engloba armazenagem e distribuição dos produtos acabados para os clientes).

A adaptação do modelo inicial de cadeia proposto foi necessária, uma vez que a simulação por meio do software Remix IDE não comporta o número total de agentes e variáveis atreladas ao modelo proposto para realização de uma simulação ponta a ponta, fazendo com que fosse escolhida uma etapa do modelo para simulação. Ademais, com uma cadeia simplificada já se esperava observar os resultados de rastreabilidade e

monitoramento. O modelo pensado e utilizado na simulação está representado na Figura 53.

Figura 53 - O modelo inicial da cadeia de suprimentos farmacêutica



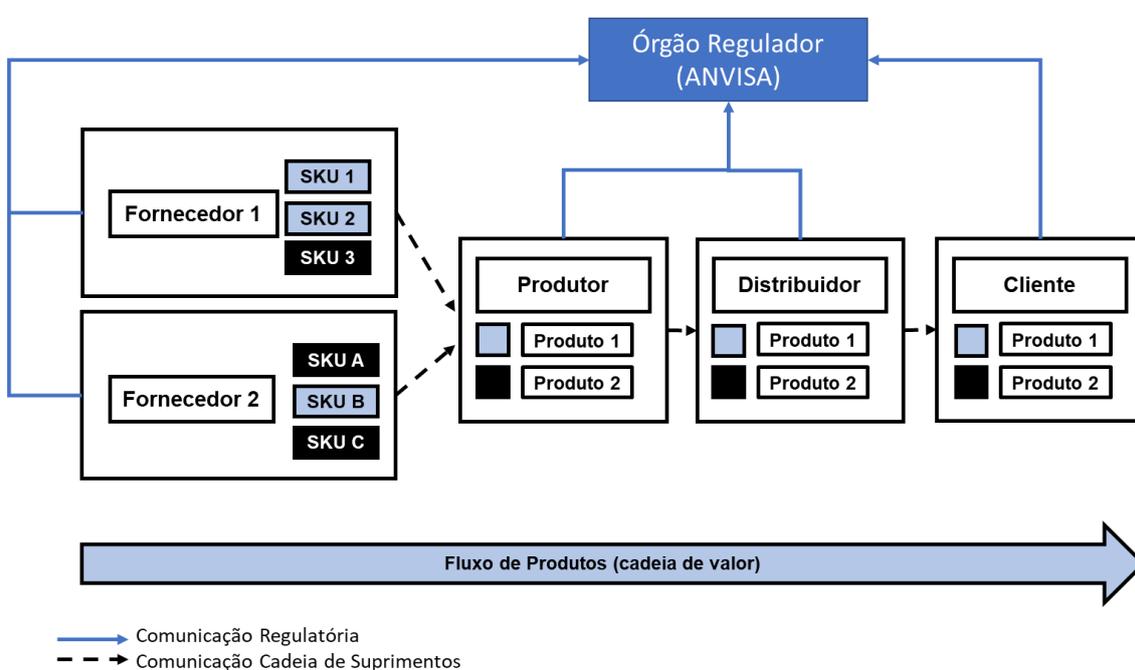
O modelo foi desenhado buscando representar os desafios e complexidades enfrentadas pela cadeia de suprimentos farmacêutica em um grau de detalhamento que permitisse a expansão e aplicação da proposta deste trabalho para outras cadeias de suprimentos de diferentes segmentos de negócio.

Essa cadeia simples possui as principais fases identificadas pelo modelo SCOR considerando abastecimento (*source*) produção e transformação (*make*) e distribuição (*deliver*), não sendo relevantes para a simulação da tecnologia Blockchain dentro do escopo e limitações desse trabalho, a avaliação dos demais macroprocessos de planejamento (*plan*) logística reversa (*return*) e gestão de ativos (*enable*).

A complexidade do processo é representada pelo número de conexões dentro dos limites técnicos estabelecidos pela plataforma utilizada (Remix IDE) e pela composição dos produtos finais que são: Produto 1: composto por SKU1, SKU2 e SKUB e Produto 2: SKU3, SKUA e SKUC de diferentes fornecedores que são tratados e combinados na etapa de fabricação pelo produtor.

A inclusão do Blockchain como tecnologia viabilizadora da rastreabilidade e monitoramento traz uma cadeia descentralizada, como se observa na Figura 54. O modelo garante que os agentes da cadeia de suprimentos têm acesso às informações de forma igual, simultânea e justa, por conta do protocolo de consenso. Cada agente inclui na rede as informações relacionadas aos seus produtos, atividades e serviços com base nas regras de negócios e, com as devidas verificações, essas informações são validadas, incluídas em um bloco da rede e por conta da estrutura do Blockchain, seriam totalmente rastreáveis.

Figura 54 - Detalhamento de uma operação com base no modelo inicial

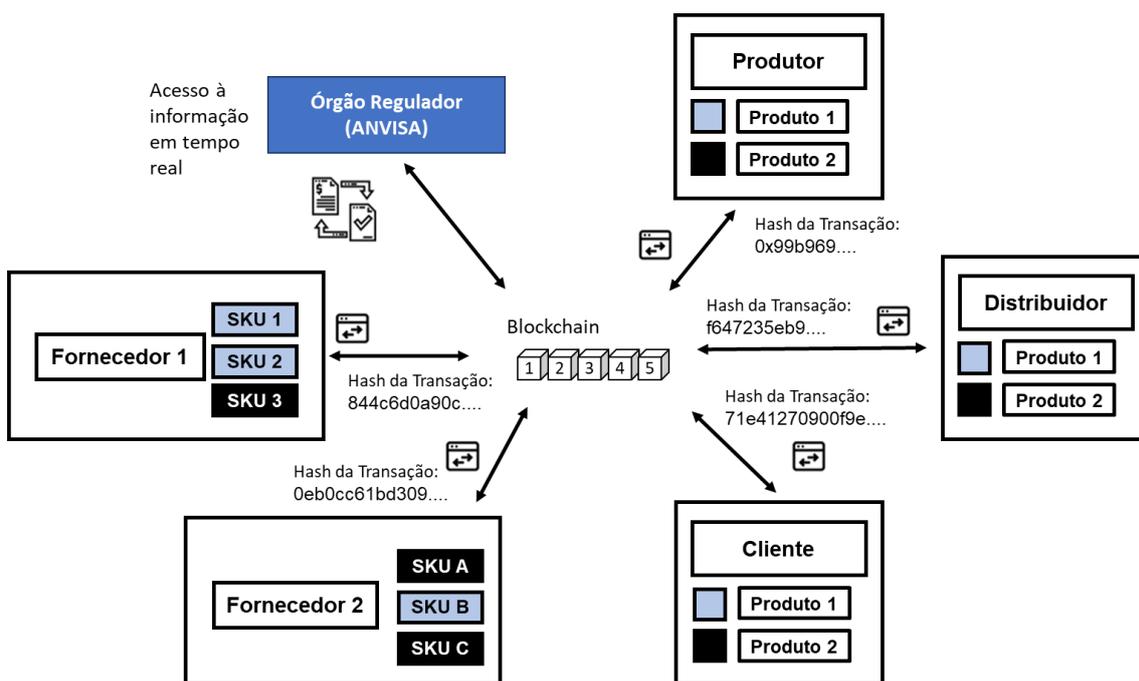


A presença de um órgão fiscalizador na figura do modelo, todavia, é representativa, uma vez que esse órgão não foi incluído na simulação dada a premissa desse estudo de que esse agente não deixaria de atuar regulatoriamente e faria o uso da rede Blockchain para acompanhar, monitorar e observar as informações como usuário passivo, ou seja, sem poder de registrar informações pertinentes ao processo de fabricação dos produtos na rede ou interferir na dinâmica do processo.

A implementação da tecnologia Blockchain em uma cadeia de suprimentos farmacêutica aumenta a transparência de informações e expõe de maneira equilibrada as atividades transacionais que podem ser controladas a partir dos contratos inteligentes.

Esse controle garante que todos os processos foram seguidos conforme os protocolos, normas e boas práticas presentes nas confecções e regras dos *Smart Contracts* considerados em sua criação trazendo um modelo diferente de interação, conforme ilustra a Figura 55.

Figura 55 - Operação descentralizada do modelo operando em Blockchain



A preparação da simulação é necessária para criação de um ambiente para trabalho. Primeiramente é importante a entrada em um ambiente descentralizado. Foi escolhido o ambiente Metamask para realização deste trabalho que é uma carteira de criptomoedas usada para interagir com o Blockchain Ethereum colocando os usuários em um ambiente descentralizado e provendo acesso à uma carteira Ethereum. O Metamask funciona por meio de uma extensão de navegador.

A entrada no Metamask se dá a partir da criação de login e senha, com gravação de uma frase de segurança que será utilizada para acesso à carteira virtual de criptomoedas ETH. Essa frase é utilizada para validação e posterior acesso à carteira, que ficará disponível ao portador da senha em ambiente web.

A carteira criada no Metamask é que será utilizada possui um *hash* para aquisição de moedas virtuais no ambiente de teste que serão consumidas para realização das simulações e pagamento dos mineradores que executarão o *Smart Contract* e a mineração dos dados para criptografia e criação dos blocos de dados. As moedas virtuais foram adquiridas no site Ropsten e são direcionadas exclusivamente para ambientes de testes em um ambiente colaborativo entre desenvolvedores que doam moedas entre os usuários.

Após a criação da carteira, é necessário obter as moedas para teste e posteriormente se faz o vínculo da carteira com a conta criada no site Remix-IDE. Esse vínculo irá disponibilizar a função “deploy” que permite a execução e teste do Smart Contract criado nas linhas de programação do ambiente Remix.

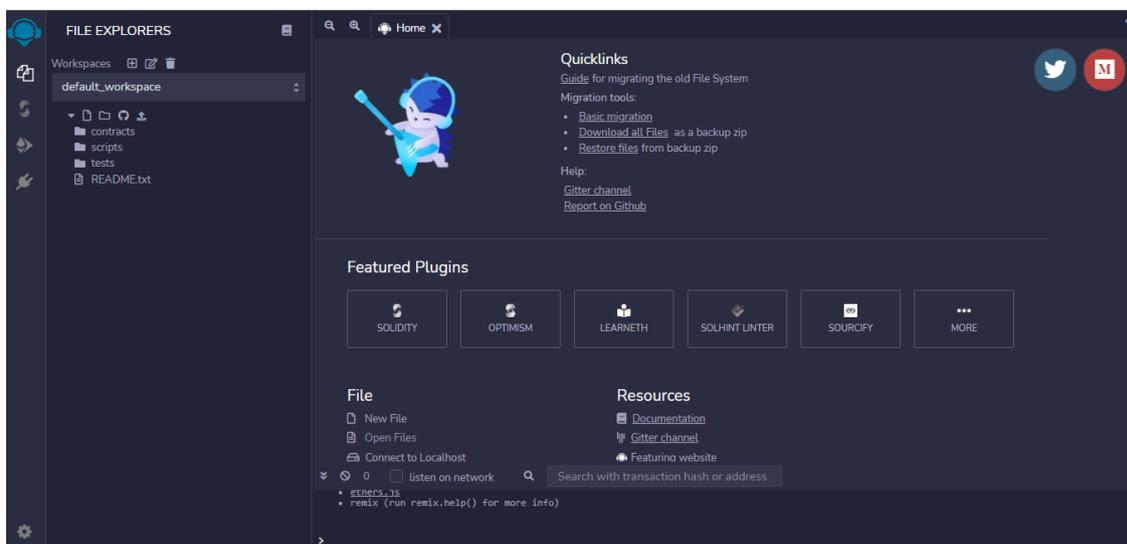
4.2.2 A Simulação do Modelo

A simulação foi realizada no Remix IDE, um aplicativo de web e desktop de código aberto. Ele promove um ciclo de desenvolvimento rápido e possui um rico conjunto de plugins com interfaces gráficas de usuário (GUIs) intuitivas. O Remix é usado em toda a jornada de desenvolvimento do contrato, permitindo desenvolver, implantar e administrar contratos inteligentes para Ethereum e Blockchains. Também pode ser usado como plataforma de aprendizagem por ser um ambiente adequado e amigável para aprender e ensinar Ethereum.

A linguagem utilizada no simulador é o Solidity, conhecido como uma linguagem de alto nível orientada a objetos utilizada amplamente para criação de *Smart Contracts* em ambiente Ethereum. Trata-se de uma linguagem de colchetes influenciado por C++, Python e JavaScript e foi projetado para aplicação no Ethereum Virtual Machine (EVM).

A atualização da linguagem de programação traz correções de segurança e funcionalidades incluindo a colaboração de uma comunidade de usuários e programadores, sendo a versão mais atual disponível para a execução da simulação desse trabalho a pragma Solidity `>=0.7.0 <0.9.0;`

Figura 56 - Tela inicial do Remix IDE



O *smart contract* produzido armazena informações dos SKUs e, a cada etapa da cadeia de suprimentos, valida se os inputs com as informações dos produtos recebidos são iguais aos dados armazenados na etapa prévia da cadeia. A lógica simplificada do código está na Figura 58, assumindo um fornecedor e não dois, para simplificar a perspectiva geral programa. O código em sua integralidade encontra-se no Apêndice B, ao final do documento.

O objetivo do código é armazenar as informações a respeito dos produtos, confirmar se entre uma etapa e outra da cadeia de suprimentos as informações mantêm-se iguais. Caso as informações não sejam iguais, o contrato inteligente aciona um erro que interrompe a criação do bloco de dados para evitar qualquer tipo de erro ou desalinhamento de informação no Blockchain. Esse erro ou desalinhamento pode ser desde uma simples falha operacional como pode ser uma tentativa de adulteração de processo ou problema que influencia na confiabilidade da rede. No *Smart Contract* não são tolerados desvios em relação as regras criadas no código.

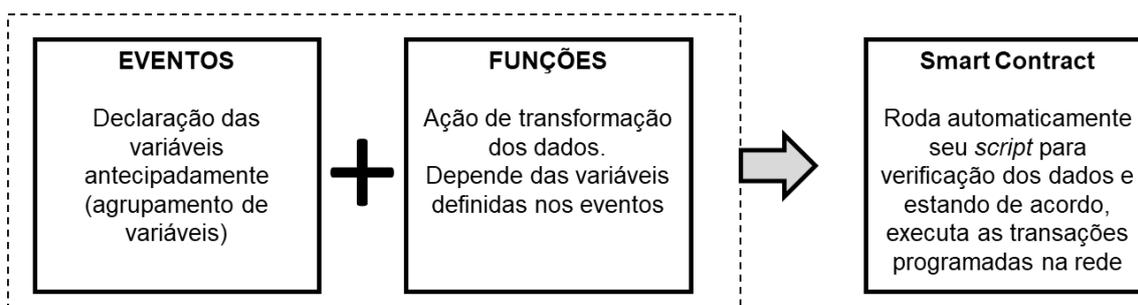
O erro pode gerar uma informação de alerta em uma tela de computador ou em um local físico na operação, e dependendo do tipo de automação e digitalização de uma operação real, pode soar um alarme na operação com indicações visuais do desvio, mensagens de texto em aparelhos celulares, acionamento de equipes de verificação e

gestão ou qualquer outro benefício que possa ser entregue por processos digitais da cadeia de suprimentos.

O código criado possui uma limitação de variáveis uma vez que o Remix IDE suporta no máximo 16 variáveis locais que estão descritas no Quadro 21.

O código é formado por vários eventos que são responsáveis pela declaração antecipada das variáveis, incluindo o agrupamento das mesmas de modo a preparar, identificar e disponibilizar os dados para execução das funções que estão relacionadas às atividades de transformação dos dados e execução das rotinas e tarefas. Todas as funções dependem das variáveis mencionadas nos eventos e executam uma ação conforme ilustrado na Figura 57.

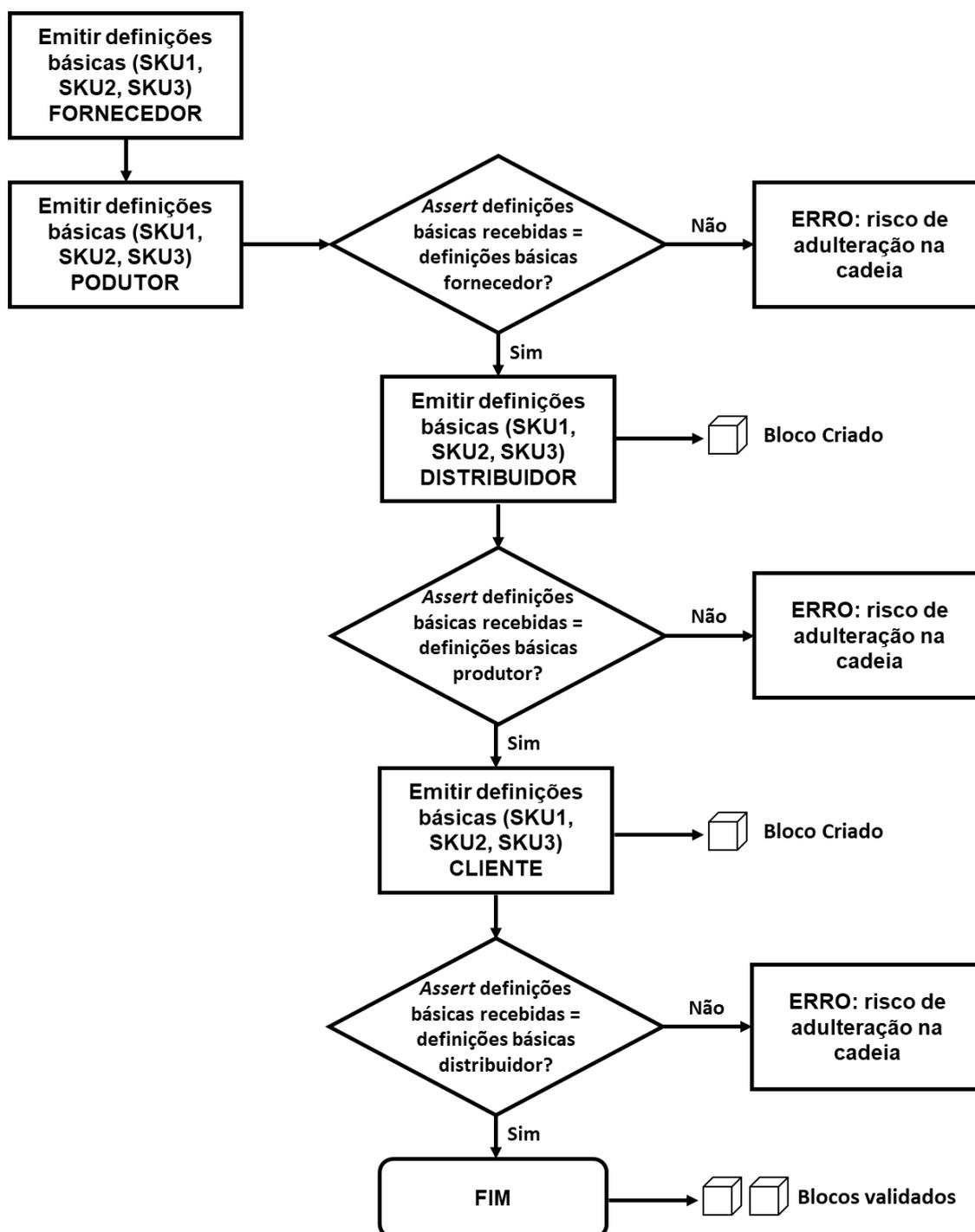
Figura 57 - Lógica de formação do código em Solidity



Os contratos inteligentes são protocolos autoexecutáveis armazenados no Blockchain e funcionam tal qual os instrumentos de celebração contratual tradicionais sem a necessidade de um intermediador ou controlador entre as duas partes. Isso se deve ao fato de o *Smart Contract* atuar de forma própria, por ser autoexecutável, e não adulterável.

Caso um nó realize uma transação com outro nó, o *Smart Contract* verificará seu próprio *script* (que inclui as regras do contrato); se a transação estiver de acordo com essas regras, a transação será realizada e caso contrário, uma mensagem de erro aparecerá para os usuários envolvidos na transação e o bloco não será gravado na rede.

Figura 58 - Lógica do Smart Contract utilizada neste trabalho

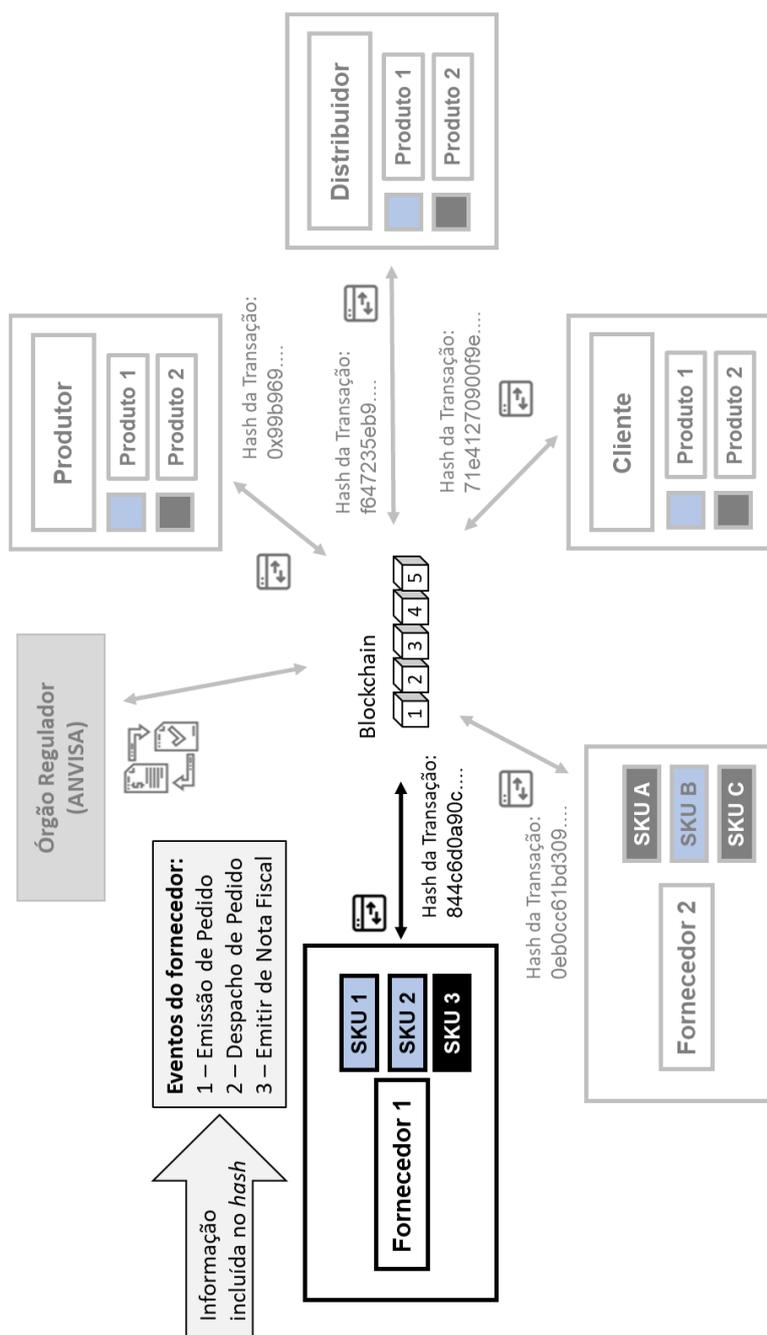


Na programação, o código é composto por diversos eventos (*event*) que são acionados sequencialmente por meio das funções. Esse acionamento irá executar as atividades programadas para garantir o armazenamento das entradas de dados de cada

uma das funções básicas descritas anteriormente no processo de preparação das informações.

A Figura 59 ilustra essa dinâmica a partir do fornecedor, exemplificando a utilização de três funções *emit* para garantir que as entradas de dados estão sendo feitas adequada e corretamente cobrindo emissão do pedido do Fornecedor, despacho do pedido e emissão da nota fiscal.

Figura 59 - Detalhe da operação utilizada na simulação



Os eventos em destaque na Figura 59 mostram as atividades e geradores de informação em uma operação de fornecimento, recebimento e processamento de produtos em uma cadeia de suprimentos sendo essencial para a determinação e desenho da lógica de programação da simulação desse trabalho.

Quadro 24 - Eventos do Fornecedor 1

Eventos – Definição dos Eventos Fornecedor 1

- 1: **event** EmissaoPedidoFornecedor1 (address Fornecedor1, int16 DefBasicas1, int16 DefBasicas2,
 - 2: int16 DefBasicas3);
 - 3: **event** DespachoPedidoFornecedor1 (int16 NSU1, int16 Quantidade1, int16 Lote1, int16 NSU2,
 - 4: int16 Quantidade2, int16 Lote2, int16 NSU3, int16 Quantidade3, int16 Lote3);
 - 5: **event** EmitirNotaFornecedor1 (address Operador, int16 NSU1, int16 Quantidade1, int16
 - 6: Preco1, int16 NSU2, int16, Quantidade2, int16 Preco2, int16 NSU3, int16 Quantidade3, int16
 - 7: Preco3);
-

A definição dos eventos é essencial para início da programação do *script* da simulação e se resume em três atividades: emissão de pedido pelo fornecedor que considera os dados do fornecedor, e dados do produto considerando as variáveis do Quadro 21 respeitando a capacidade de processamento do Remix IDE de variáveis com até 16 Bits de tamanho. A definição dos eventos é exemplificada no Quadro 24.

A função *emit*, por exemplo, tem a função de armazenamento das informações e definições básicas dos SKUs e está presente em várias linhas de programa do código pois é responsável pela comunicação entre os componentes da cadeia de suprimento desenhada, garantindo que cada informação coletada nos pontos de contato da cadeia possa ser confirmada no componente seguinte.

Quadro 25 - Emissão de Pedidos Fornecedor 1

Emissão – Emitir Pedido do Fornecedor

- 1: **function** APedidoFornecedor1 (address Fornecedor1, int16 DefBasicas1, int16 DefBasicas2,
 - 2: int16 DefBasicas3) public
 - 3: {
 - 4: **emit** EmissaoPedidoFornecedor1 (Fornecedor1, DefBasicas1, DefBasicas2, DefBasicas3);}
-

A emissão de pedidos do fornecedor leva em consideração todas as informações relevantes necessárias para garantir a rastreabilidade e coerência do processo considerando as definições básicas de produtos, incluindo código dos componentes e dados do fornecedor. Esses dados serão compilados e acrescentados ao bloco de dados para verificação posterior na operação subsequente, de recebimento do material.

Adicionalmente, existem as funções *assert*, que servem para validar as informações ente os componentes da cadeia de suprimentos garantindo a compatibilidade, alinhamento e validação da informação entre as atividades desenhadas na cadeia de suprimentos. Tal função reforça automaticamente a confiabilidade dos dados durante a execução do *Smart Contract* não permitindo a gravação do bloco em caso de desalinhamento da informação entre os pontos de verificação.

Quadro 26 - Conferência das Transações

Conferência das Transações

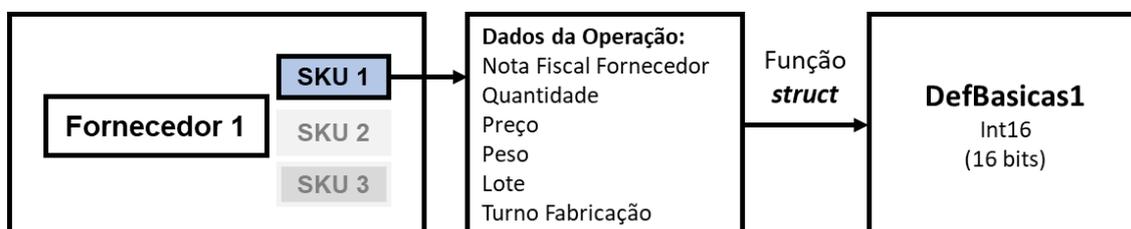
```
1: function GReceberProdutoProd (string memory hash,int16 NSU123ABC,
2: int16 NSU123ABCrecebido) public {
3: emit ReceberProdutoProdutor (hash);
4: assert (NSU123ABCrecebido==NSU123ABC);}
```

A utilização de uma função *assert* que compara os dados disponibilizados pelo fornecedor no Blockchain pode ser vista no Quadro 26, quando feita a emissão da nota fiscal e da realização do despacho da mercadoria com os dados no momento do recebimento físico e conferência da mesma mercadoria, garantindo que não existe erros, alterações ou adulterações no processo. A variável NSU possibilita a rastreabilidade do produto garantindo que seja possível identificar detalhadamente e claramente os componentes que foram utilizados no processo de fabricação, notas fiscais e remessas relacionadas ao produto fabricado.

Outra função importante utilizada na programação é a função *struct* que é responsável pela combinação e unificação das variáveis para ajuste do tamanho da informação armazenada para formação de um registro. A informação será limitada nessa versão de programa em 16 bits (int16). A aplicação da função *struct* ajusta a informação

em forma de vetor para transformá-la em uma única variável int16 conforme exemplificado na Figura 60.

Figura 60 - Ilustração da função struct



A transformação das informações em variáveis de 16 bits foi realizada para todas as operações conforme demonstrado no Quadro 27 e reflete exatamente a formação dos registros de cada uma das atividades da cadeia de suprimentos adotada como modelo de simulação desse trabalho. Os registros são feitos para os produtos, notas fiscais, operações de despacho, faturamento e recebimento.

Quadro 27 - Montagem dos Registros dos Produtos

Montagem dos Registros dos Produtos - Struct

```

1:  struct DefBasicas1 {int16 NSU1; int16 Quantidade1; int16 Preco1; int16 Peso1; int16 Lote1; int16
   Turno1;}
2:  struct DefBasicas2 {int16 NSU2; int16 Quantidade2; int16 Preco2; int16 Peso2; int16 Lote2; int16
   Turno2;}
3:  struct DefBasicas3 {int16 NSU3; int16 Quantidade3; int16 Preco3; int16 Peso3; int16 Lote3; int16
   Turno3;}
4:  struct DefBasicasA {int16 NSUA; int16 QuantidadeA; int16 PrecoA; int16 PesoA; int16 LoteA; int16
   TurnoA;}
5:  struct DefBasicasB {int16 NSUB; int16 QuantidadeB; int16 PrecoB; int16 PesoB; int16 LoteB; int16
   TurnoB;}
6:  struct DefBasicasC {int16 NSUC; int16 QuantidadeC; int16 PrecoC; int16 PesoC; int16 LoteC; int16
   TurnoC;}

```

A montagem do produto a partir dos SKUs identificados no Quadro 27 é feita a partir da associação da função *struct* e a função *mapping* que armazena os dados na forma de pares de valor-chave como em um dicionário. A combinação da informação traz um processo associado a uma chave de controle mantendo as informações individuais dos SKUs recebidas nesse processo, garantindo assim a estrutura de rastreabilidade da informação ao longo da geração e gravação das informações nos blocos do Blockchain.

Quadro 28 - Montagem e Associação das Variáveis

Combinação das funções Struct e Mapping

```

1:  struct S { uint16 NSU1; uint16 NSU2; uint16 NSUB;}
2:      int16 x;
3:      mapping(uint16 => mapping(uint16 => S)) data1;
4:  struct R { uint16 NSU3; uint16 NSUA; uint16 NSUC;}
5:      int16 y;
6:      mapping(uint16 => mapping(uint16 => R)) data2;

```

As funções “*struct S*” e “*struct R*” criam as variáveis geradas a partir da associação dos dados dos SKUs que são componentes dos produtos 1 e 2 respectivamente apresentados na Figura 53 representando o processo de transformação do produto e a partir do armazenamento individual das informações na rede, a chave criada garante que a junção dos SKUs na criação do produto realmente ocorreu. As demais informações contidas no processo mencionadas no Quadro 23 são consideradas e mantidas para efeito de rastreabilidade.

Após a montagem do contrato, é necessário rodar o *script* programado por meio de uma atividade chamada *deploy*. Essa atividade é feita diretamente no Remix IDE a partir de uma interface gráfica de usuário contendo como campo de preenchimento as variáveis determinadas pelas funções. Cada campo exige nessa simulação a entrada de números inteiros de até três dígitos para realização da transação.

A cada transação realizada, um bloco é gerado e suas informações podem ser visualizadas no Etherscan 2021, um suplemento da carteira de criptomoedas Metamask. A simulação gera um *hash* para cada transação executada e anexa junto a ela um bloco de dados com as informações entradas para cada transação, conforme as variáveis definidas no Quadro 23. A cadeia de suprimentos avaliada possui um registro computado de cada uma das transações realizadas, que foi verificado pelo Smart Contract antes de serem inseridas na rede.

Qualquer alteração ou divergência nas informações antes da gravação gera um erro e impede que o bloco seja adicionado. Uma notificação ou ação pode ser iniciada a

partir desse momento por um erro ou tentativa de fraude da cadeia de suprimentos. Nesse momento a cadeia de blocos é interrompida e a mensagem de erro fica gravada.

O *hash* criado permite fazer o monitoramento e a verificação reversa das informações contidas na cadeia, abrindo e detalhando cada uma das variáveis entradas no *hash* em análise. As informações são visualizáveis no Etherscan devendo ser formatadas para correta visualização e interpretação.

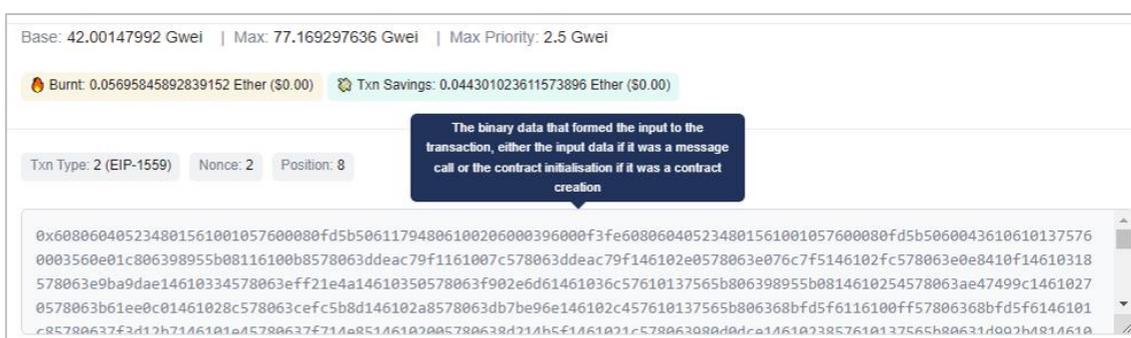
Nos momentos em que se torna necessária a criação de pares de valores-chave para realização de funções nas linhas de programação, a função *mapping* é utilizada de maneira combinada com a *struct*, criando esses pares de valores-chave e armazenando na rede de blocos como em um dicionário. A associação das duas funções permite a criação de uma nova variável associada a uma chave e garante que o processo de junção dos SKUs utilizados no modelo sejam registrados permitindo manter o conteúdo das informações originais e favorecendo a rastreabilidade após a junção dos mesmos na criação do produto como pode ser observado na Figura 59.

Após a finalização da construção dos códigos, o próximo passo é a execução do mesmo para simulação de uma transação na atividade escolhida, feito a partir da execução de um *deploy* no Remix IDE. Essa execução é possível após o compilamento do contrato e fornecimento de informações para simulação. As informações utilizadas foram definidas de acordo com as variáveis identificadas e citadas.

O primeiro passo é a gravação do código e efetivação do *Smart Contract* a partir da compilação do código desenvolvido para criação efetiva do contrato com todas as regras desenhadas na simulação, garantindo a estrutura necessária para a execução de uma transação.

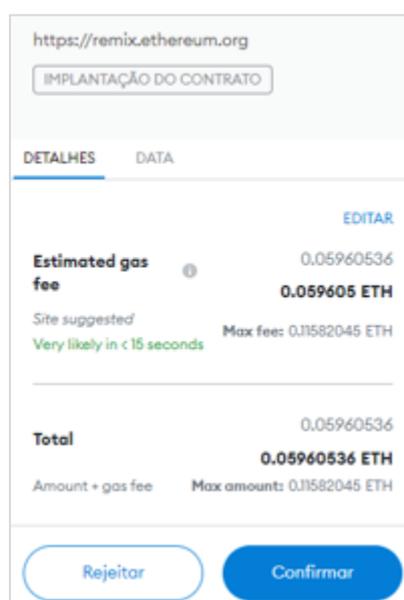
A compilação de um *Smart Contract* está atrelada ao pagamento de um minerador para execução e gravação dos resultados em um Blockchain. O resultado da compilação é a conversão da programação desenvolvida em linguagem Solidity em informações binárias de baixo nível em formato hexadecimal, que pode ser consultado na página de resultados do Etherscan (Figura 61) e está disponível integralmente no Apêndice C.

Figura 61 - Código binário do Smart Contract compilado



Por exigir o pagamento da transação de mineração durante a transação, a disponibilização do botão *'Deploy'* utilizado para rodar essa função somente estará disponível após a sincronização da carteira virtual Metamask com a conta criada de usuário no Ethereum ambiente teste. Essa sincronização é necessária para que se possa saber e aprovar os valores gastos com os custos transacionais pelos mineradores de informação que irão processar o *Smart Contract* conforme Figura 62.

Figura 62 - Custo da transação de compilação do Smart Contract em ETH



Após acionar o botão *Deploy*, recebe-se a informação dos custos transacionais para confirmação e somente após o aceite do pagamento com saldo suficiente na carteira

virtual, o contrato tem início à sua compilação. O resultado da compilação é um bloco de dados relacionado ao *Smart Contract* propriamente identificado contendo o conteúdo da programação informado no Apêndice C.

A cada transação realizada no Remix IDE, um bloco é criado conforme ilustrado na Figura 58, que pode ser visualizado em uma plataforma chamada Etherscan. Trata-se de uma plataforma de exploração de Blockchain desenvolvida e mantida em rede Ethereum que permite a pesquisa de transações, blocos, endereços de carteira, contratos inteligentes e diversas outras informações relevantes às operações realizadas nesse ambiente. As variáveis utilizadas na criação do bloco são explicadas no Quadro 29.

Quadro 29 - Variáveis da criação do bloco de dados

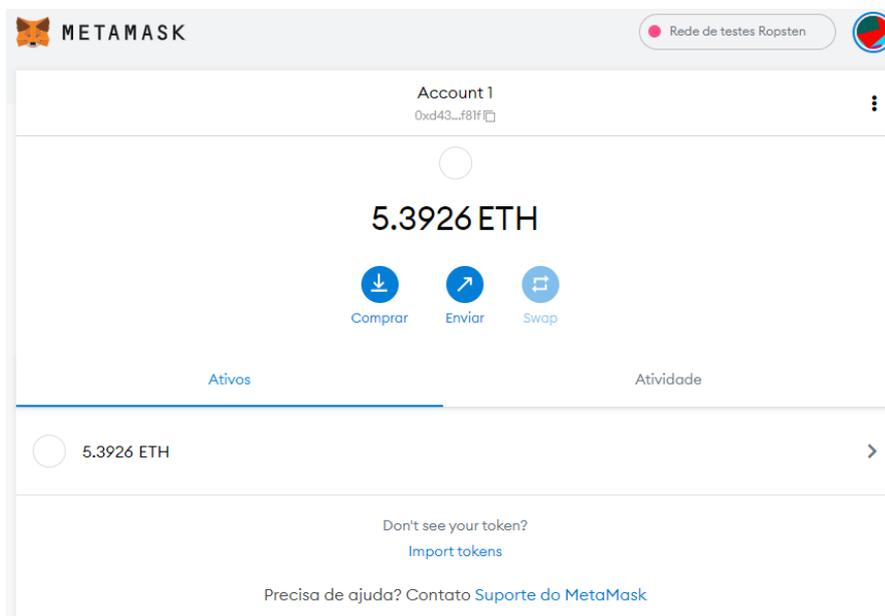
Variáveis	Dados
Transaction Hash:	É um identificador único de 66 dígitos criado toda vez que uma transação é executada no Blockchain.
Status:	Reflete o status da transação realizada.
Block:	É o número do bloco no qual a transação foi gravada. A confirmação de blocos indica o número de blocos que foi adicionado na sequência após a mineração desta transação.
Timestamp:	Data e hora da mineração da transação.
From:	Identificação do mandante da transação.
To:	Identificação do recebedor da transação (pode ser um <i>hash</i> de Smart Contract).
Value:	Mostra o valor transacionado em Ether e <i>fiat value</i> .
Transaction Fee:	Montante pago ao minerador para efetuar a transação.
Gas Price:	Custo por unidade de gas especificado para esta transação, mostrado em Ether e Gwei. Quanto maior o preço pago pelo gas, maior a chance de ser minerado e incluído em um bloco.
Gas Limit & Usage by Txn:	Montante máximo de gas alocado para a transação e montante eventualmente utilizado (pode ser até 100%)
Gas Fees:	Taxas relacionadas ao momento da gravação do bloco. Taxa Base se refere à taxa básica da rede para entrada do bloco, Taxa Máxima e Prioridade Máxima se referem às taxas que o usuário está disposto a pagar pela transação e para o minerador respectivamente.
Burnt:	Valor total das taxas de Burnt relacionadas ao pagamento da transação e conversão de moedas
Txn Savings Fees:	Valor total das taxas transacionais economizadas em relação ao que o usuário estava disposto a pagar.
Others:	Outros dados da transação.
Input Data:	Dados adicionais incluídos na transação usados como parte de um contrato ou interação entre emissor e recebedor da transação.

O Etherscan permite também, a conexão de diversos sistemas transacionais como ERPs e outros softwares de gestão por meio de APIs para estruturação de *frameworks* de trabalho. Essa conexão garante interoperabilidade e transparência entre os sistemas conectados e permite a interação de diferentes níveis de usuários e acesso permissionado à diversas transações e dados em uma rede a partir da construção e execução de Smart Contracts remunerados em criptomoedas ETH (Ether).

Adicionalmente, a plataforma favorece a conexão de carteiras virtuais e DApps, aplicativos descentralizados que podem ser utilizados por exemplo até por consumidores ou usuários comuns.

O gerenciamento das criptomoedas pode ser feito em diferentes carteiras virtuais, como por exemplo Trust Wallet, MetaMask, Binance Chain Wallet, Math Wallet, Trezor One e outras. Optou-se pela utilização do MetaMask pela indicação da mesma pela plataforma RemixIDE, facilitando a conexão e execução das simulações. O saldo de moedas virtuais e informações da carteira utilizada podem ser vistos na Figura 63.

Figura 63 - Carteira MetaMask



Após a finalização da compilação do contrato e do pagamento dos mineradores, o Etherscan disponibiliza um resumo sobre a transação fornecendo os dados de

identificação do contrato, dados do bloco, *Timestamp*, pagamento com identificação entre pagadores e recebedores do valor, valores em ETH de processamento e de taxa transacional, preço do GAS utilizado na conversão da moeda e taxas inclusas, finalizando com os dados transacionais. O Quadro 30 apresenta o resultado da compilação do *Smart Contract*.

Dessa mesma maneira, uma *hash* é gerada para cada uma das transações realizadas e elas são conectadas entre si conforme o produto se movimenta na cadeia de suprimentos. Com isso se pode verificar as informações a respeito dos produtos exatamente como estruturado no *Smart Contract* garantindo rastreabilidade total e confiável pela possibilidade de abertura e verificação dos conteúdos dos blocos anteriores.

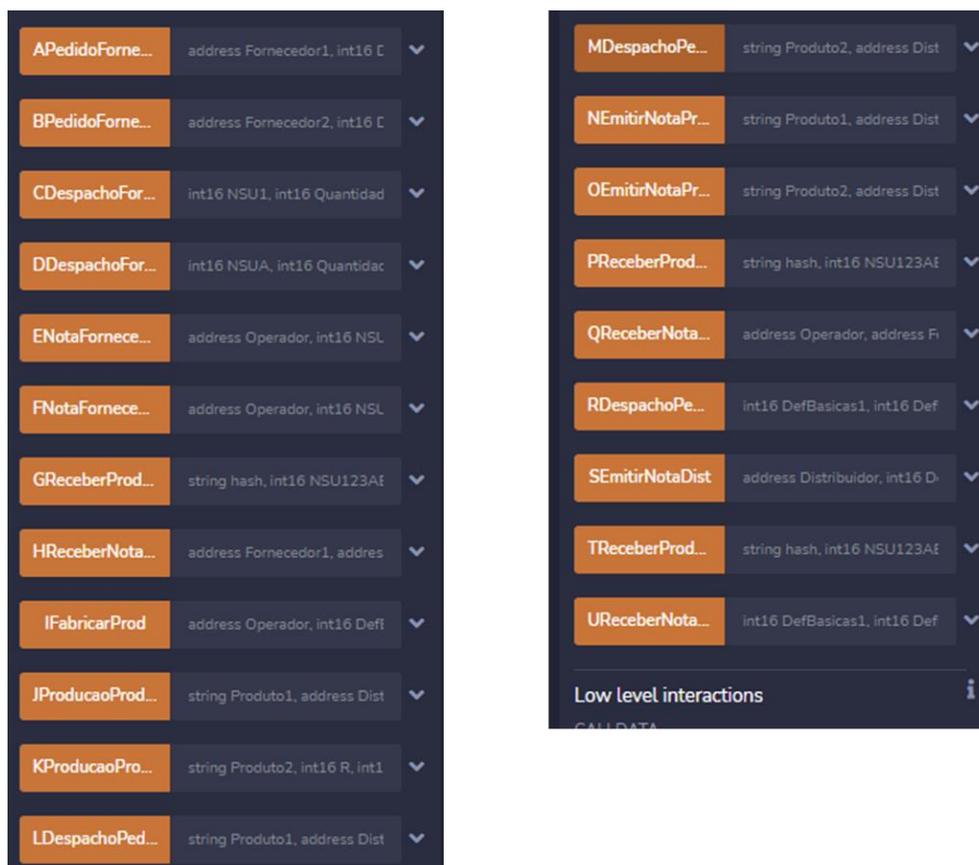
Quadro 30 - Resultado da Compilação do Smart Contract

Variáveis	Dados
Transaction Hash:	0x1fb9524890f887d1b80d178d9888fbf3dc5e453d892882ab5ab462072d465ba9
Status:	Success
Block:	11867072 – 836 Block Confirmations
Timestamp:	(Jan-24-2022 02:46:20 PM +UTC)
From:	0xd43def32c65a5ea5188ab135b2f098f45e85f81f
To:	[Contract 0xa6736988c8d312eb2facdc929f5ec4f6114415e7Created]
Value:	(\$0.00)
Transaction Fee:	0.06034872392839152 Ether (\$0.00)
Gas Price:	0.00000004450147992 Ether (44.50147992 Gwei)
Gas Limit & Usage by Txn:	1,356,106 1,356,106 (100%)
Gas Fees:	Base: 42.00147992 Gwei Max: 77.169297636 Gwei Max Priority: 2.5 Gwei
Burnt:	 Burnt: 0.05695845892839152 Ether (\$0.00)
Txn Savings Fees:	 Txn Savings: 0.044301023611573896 Ether (\$0.00)
Others:	Txn Type: 2 (EIP-1559) Nonce: 2 Position: 8
Input Data:	*Ver Anexo III

Os validadores não permitem a criação de blocos adicionais sequenciais cujas informações não estejam relacionadas ou alinhadas com as informações anteriores ou que não cumpram qualquer uma das determinações construídas no *Smart Contract* considerando tais informações falsas e interrompendo a gravação da mesma no Blockchain, podendo gerar um erro.

O *Smart Contract* após compilado traz na tela principal do simulador todas as funções programadas relacionadas aos eventos considerados na cadeia de suprimentos adotada como modelo para este trabalho e podem ser vistos na Figura 64.

Figura 64 - Atividades contidas no Smart Contract



O próximo passo da simulação após a criação do *Smart Contract* é realizar a simulação de uma atividade da cadeia de suprimentos escolhida para este trabalho. O exemplo mostrado está relacionado à atividade de despacho do Fornecedor 1. A execução será dada a partir da seleção do *Smart Contract* e preenchimento dos campos definidos na atividade Despacho do Fornecedor refletida no código criado e compilado anteriormente conforme descrito na Figura 64.

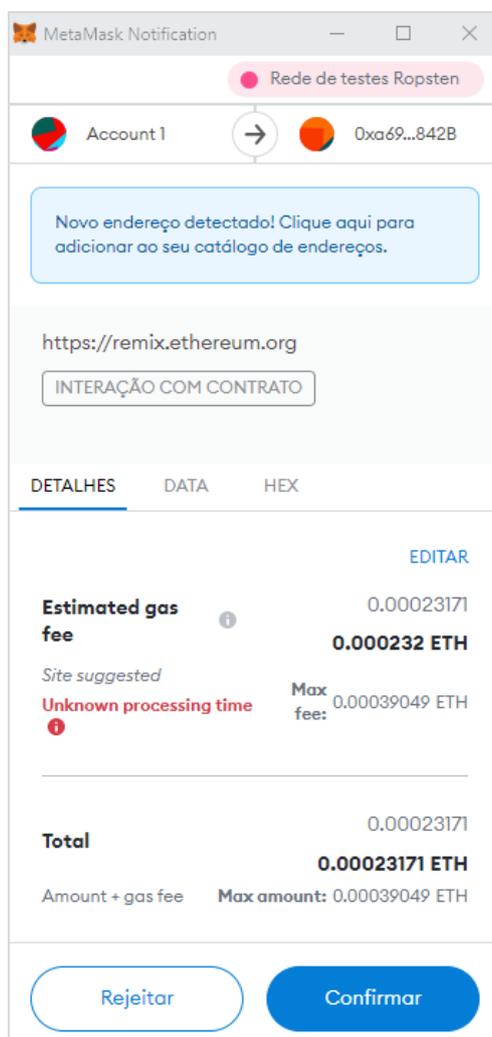
Figura 65 - Frame de entrada de dados para transação

BPedidoForme...		address Fornecedor2, int16 C
CDespachoFornecedor1		
NSU1:	25	
Quantidade1:	50	
Lote1:	123	
NSU2:	26	
Quantidade2:	150	
Lote2:	358	
NSU3:	27	
Quantidade3:	200	
Lote3:	365	
		transact

O preenchimento de dados respeita as limitações do simulador considerando números de no máximo 3 dígitos para composição do *string* de 16 bits para inclusão no bloco. Foram consideradas as variáveis apresentadas no Quadro 23 para realização da transação e criação do bloco de dados.

O processamento dessa transação é feito após o preenchimento dos campos e acionamento do botão 'transact' que vai dar início ao processo de mineração da informação e execução do *Smart Contract*. Seguindo a mesma sequência, o valor da transação é apresentado (Figura 66) e precisa ser aceito pelo emissor da transação, de modo a remunerar adequadamente o minerador que aceitar o processamento da informação para inclusão no bloco.

Figura 66 - Notificação de custo de processamento da transação



Após o aceite do pagamento no botão 'confirmar' o processamento da informação vai para o Blockchain e mineradores disponíveis trabalharão para execução do *Smart Contract*, preparação da informação e gravação do bloco na rede. Após o término do processamento segundos depois, um alerta informa o sucesso da transação e a possibilidade de verificação dos resultados da transação no Etherscan. O resultado da transação no Etherscan pode ser observado na Figura 67.

Figura 67 - Relatório de transação Blockchain no Etherscan

The screenshot shows the Etherscan interface for a transaction on the Ropsten Testnet Network. The transaction is successful and has 1 block confirmation. The value is 0 Ether (\$0.00) and the transaction fee is 0.000237323594801145 Ether (\$0.00).

Field	Value
Transaction Hash	0xcd1b313df2332bf0107e0e77f47009405888bf1c18048ac45a0637b728b8abd4
Status	Success
Block	11871923 (1 Block Confirmation)
Timestamp	1 min ago (Jan-25-2022 02:13:07 PM +UTC)
From	0xd43def32c65a5ea5188ab135b2f098f45e85f81f
To	Contract 0xa69640578e413ce9c10039f49828237527ab842b
Value	0 Ether (\$0.00)
Transaction Fee	0.000237323594801145 Ether (\$0.00)

O *hash* das transações criadas permite o monitoramento das atividades e acompanhamento de toda a rede pela disponibilização da informação em tempo real a todos os participantes, e adicionalmente, pelo mesmo motivo, permite a rastreabilidade das informações e dos processos. O bloco neste momento está gravado e adicionado ao Blockchain.

Observando os detalhes da transação no Quadro 31, verifica-se que os campos utilizados para entrada de informação no processamento foram gravados no Blockchain exatamente como definido no *Smart Contract*. Observa-se que a transação possui um cabeçalho determinado *Address* em formato de *hash* que relaciona a transação ao parceiro que realiza esta transação (no caso o fornecedor) e seguido por um *hash* identificador da transação. Adicionalmente os campos mostrados podem ser consultados no Log da transação disponível no Etherscan.

Quadro 31 - Resultado da Transação Despacho Fornecedor 1

Variáveis	Dados
Transaction Hash:	0xcd1b313df2332bf0107e0e77f47009405888bf1c18048ac45a0637b728b8abd4
Status:	Success
Block:	11871923 – 1 Block Confirmation
Timestamp:	1 min ago (Jan-25-2022 02:13:07 PM +UTC)
From:	0xd43def32c65a5ea5188ab135b2f098f45e85f81f
To:	Contract 0xa69640578e413ce9c10039f49828237527ab842b
Value:	(\$0.00)
Transaction Fee:	0.000237323594801145 Ether (\$0.00)
Gas Price:	0.000000008366775773 Ether (8.366775773 Gwei)
Gas Limit & Usage by Txn:	28,365 28,365 (100%)
Gas Fees:	Base: 5.866775773 Gwei Max: 13.951567784 Gwei Max Priority: 2.5 Gwei
Burnt:	 Burnt: 0.000166411094801145 Ether (\$0.00)
Txn Savings Fees:	 Txn Savings: 0.000158412625392015 Ether (\$0.00)
Others:	Txn Type: 2 (EIP-1559) Nonce: 4 Position: 89
Input Data:	*Ver Anexo IV

Pode-se observar na Figura 67 que todos os dados informados nos campos de entrada da transação foram gravados e são apresentados em formato hexadecimal, contendo os *hashs* relacionados à transação e podem ser convertidos em números, texto ou endereço para visualização. A informação dos campos pode ser verificada detalhadamente em sua apresentação original no resultado desse processamento no Apêndice D deste trabalho.

Figura 68 - Detalhes da transação no Etherscan

Transaction Details < >

Overview **Logs (1)** State

Transaction Receipt Event Logs

115 **Address** `0xa69640578e413ce9c10039f49828237527ab842b` 🔍

Topics 0 `0x16cee0c0acb6d51b15b836d5b1e874eb27e255cf280fe35547d7df6b57112b`

Data

Hex	→	0019
Hex	→	0032
Hex	→	007b
Hex	→	001a
Hex	→	0096
Hex	→	00166
Hex	→	001b
Hex	→	00c8
Hex	→	0016d

Dados após a conversão de hexadecimal para decimal

↓

Data

Num	→	25
Num	→	50
Num	→	123
Num	→	26
Num	→	150
Num	→	358
Num	→	27
Num	→	200
Num	→	365

5. DISCUSSÃO

Durante a realização deste estudo identifica-se oportunidade para um novo formato de gerenciamento da cadeia de suprimentos a partir da descentralização da informação e da alteração na interação dos participantes da cadeia de suprimentos que tem a possibilidade de alterar seu modelo de gestão linear para um modelo descentralizado, colhendo assim diversos benefícios em seus processos de gestão. Os Apêndices C e D apresentam os detalhes do desenvolvimento da simulação e dos resultados obtidos para esta análise.

As definições das cadeias de suprimento confirmam sua composição por uma organização com diversos agentes que interagem entre si de maneira a colaborar em um processo de transformação de valor e isso resulta em um novo modo de definir a cadeia de suprimentos com base na relação entre os parceiros configurando uma atividade de transformação de produto ou serviço a partir da relação de compra e venda. Isso faz com que cada elo da cadeia de suprimentos atue com as atividades básicas de compra e venda entre si.

Tal definição é importante para o desenvolvimento das lógicas de operação e definição das variáveis que foram utilizadas neste trabalho refletindo a interação entre as partes envolvidas, fazendo com que o produto acabado seja um resultado do acionamento de processos de transformação e serviços entre os parceiros dessa cadeia de suprimentos.

Dentre os desafios da cadeia de suprimentos conhecidos durante os estudos e preparação da fundamentação teórica, destaca-se a falta de confiabilidade nos sistemas que regem a interação entre os participantes da cadeia de suprimentos afetando negativamente seus negócios e observa-se que a construção de maior nível de confiabilidade e transparência no modelo proposto.

As limitações conhecidas do modelo tradicional linear da cadeia de suprimentos interferem na rastreabilidade e na transparência da informação causados por falhas na interoperabilidade dos sistemas e geram riscos de integridade física dos lotes movimentados, por não garantir de maneira automática e em tempo real a manipulação correta e execução das atividades necessárias, permitindo coleta de dados ineficiente na combinação de transações manuais ou realizadas apenas após a finalização da operação,

comprometendo a integridade da conexão entre o movimento dos lotes na cadeia de suprimentos e os processos de transformação.

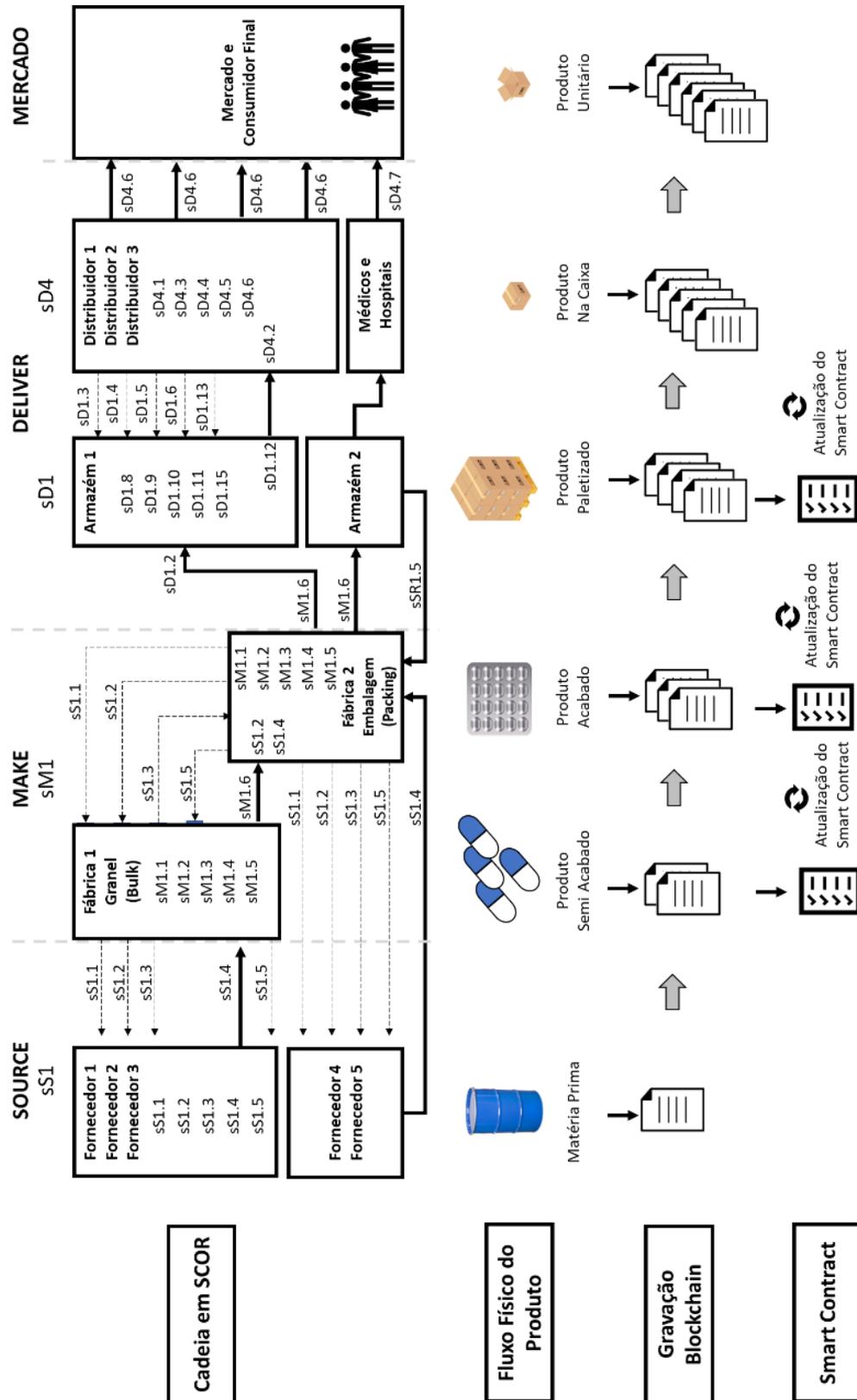
Pode-se observar claramente a diferença na abordagem realizada neste trabalho na construção do novo modelo da cadeia de suprimentos a partir de um mapeamento feito com utilização de SCOR. A padronização das atividades identificadas no mapeamento permite uma representação mais completa das interações e auxilia na identificação dos pontos de contato entre o mundo físico na geração das informações e o mundo digital para entrada das informações no Blockchain favorecendo a criação de interoperabilidade entre os elos da cadeia de suprimentos utilizada no modelo e garantindo a reprodutibilidade do trabalho realizado em cadeias de suprimento de maior escala.

A aplicação de Blockchain faz com que na nova organização da cadeia de suprimentos descentralizada, exista um maior controle por meio da definição de tais regras nos *Smart Contracts* fazendo com que essas regras sejam devidamente cumpridas para efetuação do registro e liberação do lote para o processamento na próxima etapa. Adicionalmente todos os parceiros da cadeia de suprimentos terão informação real sobre o cumprimento destas normas, erros, desvios e qualquer tipo de comportamento que coloque em risco a integridade da cadeia.

Adicionalmente, percebe-se que a descentralização da informação disponibiliza em um local de acesso comum a todos os participantes da cadeia de suprimentos, os dados pertinentes à execução das atividades, incluídos na rede a partir do contrato inteligente que obriga os mineradores a garantir que a informação é correta antes de proceder com a gravação do dado e antes de acionar via esse mesmo tipo de documento inteligente, processos subsequentes e alertas para toda a cadeia de suprimentos.

A operação identificada e mapeada mostra o fluxo de produtos e informações presentes no negócio da empresa e estão orientados em processos de suprimentos (Source), produção e manufatura (Make) e distribuição (Deliver) possuindo a maioria dos processos indicados na metodologia SCOR para execução das atividades necessárias para o atendimento do mercado consumidor.

Figura 69 - Alimentação do Blockchain a partir do fluxo físico de materiais



A gravação do bloco disponibiliza imediatamente as informações pertinentes aos participantes e garante transparência no processo. A execução do *Smart Contract* deve ser efetuada complementando e atendendo as regras de negócio e assegurando a credibilidade das transações realizadas.

As embalagens finais e bulas são inseridas nessa etapa do processo. Dados das máquinas como velocidade de avanço, rejeitos e diferenças de peso devem ser também registradas no *Batch Record* e serão adicionadas no Blockchain de acordo com as mesmas normas de confidencialidade e compliance da empresa, disponibilizando imediatamente as informações pertinentes aos participantes e próximos estágios.

Os dados são adicionados aos blocos e compartilhados com as próximas etapas da cadeia de suprimentos e a execução do *Smart Contract* é feita garantindo que todas as características e requisitos foram cumpridos, incluindo fatores regulatórios e de qualidade.

A comparação do fluxo de informações em uma rede descentralizada Blockchain permite um novo conceito de trabalho alterando a interação entre todos os participantes de maneira controlada e descentralizada, garantindo o atendimento das legislações e regulamentações vigentes com rastreabilidade e confiabilidade necessária garantindo às autoridades sanitárias total transparência sobre o cumprimento das regulamentações.

Adicionalmente, o aumento de transparência nos processos permite uma melhor preparação dos participantes da cadeia de suprimentos com a disponibilização imediata e controlada das informações no Blockchain com gerenciamento total e validação dos dados a partir de Smart Contracts garantindo a segurança e confidencialidade da informação.

A aplicação de sensores e RFID podem ser realizadas em cadeias de suprimentos fechadas com adoção de hardware e software específicos. Os protótipos apresentados na literatura recente confirmam um aumento de visibilidade na cadeia de suprimentos que não necessariamente satisfaz todos os requerimentos do mercado por serem realizados em um domínio específico de operação.

Observa-se uma limitação do trabalho pela escolha de três macro processos do SCOR para realização dessa simulação, desconsiderando-se a avaliação das vantagens de aplicação do modelo para logística reversa (return) sendo essa uma possibilidade de aprofundamento do estudo para oportunidades futuras.

A partir dos dados apresentados durante a simulação observa-se que muitos aspectos da rastreabilidade da cadeia de suprimentos podem ser melhorados com a implementação do Blockchain, principalmente com destaque para a qualidade e imutabilidade da informação, disponibilização de informações em tempo real para todos os participantes e possibilidade de acionamento dos participantes de maneira não linear em casos de problemas, desvios ou tentativas de fraude identificadas pelos contratos inteligentes.

Observa-se a partir da nova proposta deste trabalho que a cadeia de suprimentos deixa de operar de maneira linear (Figura 69) passa a operar de maneira descentralizada conforme mostrado na Figura 70, trazendo um novo conceito de gestão e relacionamento entre os parceiros, incluindo a construção de transparência, confiabilidade e mais alto nível de segurança transacional e de operação.

Os processos de transformação não são alterados e o fluxo de produtos se mantém de maneira linear e respeita os processos de transformação sequenciais, obtendo-se porém, melhor nível de informações em um ambiente seguro que pode resultar em maior confiabilidade de processos, melhor rendimento e performance de produção e manufatura pelo compartilhamento de dados e também melhor capacidade de adaptação a riscos e variações gerais pela possibilidade de identificação antecipada de qualquer tipo de desvio.

Na cadeia de suprimentos farmacêutica, observa-se um fator positivo adicional relacionado à fiscalização dos órgãos reguladores que tem acesso imediato a qualquer tipo de desvio de um processo produtivo ou de movimentação que pode ser identificado por um *Smart Contract* e comunicado imediatamente ao órgão competente. Os desvios podem conter adulteração, fraudes, desvios das normas de produção, ou qualquer tipo de intercorrência que pode ser identificada por sensores, apontamentos e sistemas de computadores em tempo real.

A colaboração para a cadeia de suprimentos se estende também à redução da burocracia relativa à redução de documentos relacionados a operações manuais e também ao controle manual das operações, apontamentos, e verificações permitindo melhor transparência e confiabilidade em diferentes partes do processo produtivo a partir da disponibilização imediata e total das informações a todos os agentes da cadeia de suprimentos.

O controle das informações de produção inclusas no *Batch Record* da maioria das empresas farmacêuticas é realizado manualmente a partir de apontamentos e notas feitos em folhas de papel, assinadas e controladas por um arquivo central, e devem ser catalogadas para garantir a disponibilização dos documentos necessários nos casos de auditoria, solicitação de alguma agência regulatória ou consultas internas de diversos tipos.

Tal atividade exige esforço para gerenciamento, dedicação de uma equipe exclusiva e independente para controle e guarda dos documentos e espaço físico para arquivamento dos documentos durante alguns anos para consultas futuras ou investigação, tornando a rastreabilidade pouco transparente e de alta complexidade num caso mais grave.

Restrições de compartilhamento de informações serão aplicadas nesse modelo a partir de *Smart Contracts* em respeito a dados confidenciais dos processos, fórmulas e patentes e necessidades relacionadas às regras de *compliance* e proteção de dados.

A implementação em um modelo mais simplificado de cadeia de suprimentos mostra ser tecnicamente possível considerando-se as limitações da plataforma utilizada e a complexidade controlada para atendimento da proposta desse trabalho, podendo ser a mesma metodologia aplicada em uma cadeia de suprimentos real, a partir de investimentos em tecnologia e programação em uma rede Blockchain comercial, oferecendo vantagens competitivas aos seus usuários.

O desenvolvimento do trabalho com base em uma cadeia da área farmacêutica mostra que é possível aplicar a funcionalidade em outros tipos de cadeia, levando em consideração um bom mapeamento feito a partir de uma metodologia padronizada e comparável. A aplicação de SCOR nesse trabalho tem a intenção de auxiliar nessa atividade de replicação uma vez que a partir da identificação de fatores e critérios

relacionados a essa metodologia padrão, seja possível garantir o sucesso da repetição da abordagem em outro tipo de cadeia de suprimentos

Adicionalmente, a padronização auxilia na identificação das operações e das variáveis que devem ser consideradas em cada uma das atividades avaliadas no trabalho, sendo essencial para a correta definição das relações de comunicação e garantia de construção de interoperabilidade

A conexão entre o fornecedor e a fábrica e a emissão de um despacho para o fornecedor efetuado em ambiente Blockchain mostra que é possível garantir a segurança da informação por meio da criptografia e da compilação e preparação dos dados incluídos nos blocos gerados, do *Smart Contract* e da transação propriamente.

A realização da simulação mostra que é possível executar atividades em um Blockchain e de maneira muito mais eficiente é possível valer-se de entradas e coletas de dados no mundo físico através de dispositivos IoT, códigos de barra ou RFID conforme descrito no referencial teórico automatizando a coleta de dados das operações e abastecendo o Blockchain com informações relevantes, possibilitando a execução dos Smart Contracts em tempo real e possibilitando a interação de forma mais eficiente na cadeia de suprimentos.

Todos os participantes da cadeia de suprimentos possuem visibilidade total das informações ingressadas na cadeia de suprimentos a partir da configuração de seus sistemas e conexão à plataforma Blockchain. Observa-se que, por exemplo no Etherscan é possível a partir de conexões via API pode-se conectar diferentes softwares, dispositivos e aparelhos para interação descentralizada com os Smart Contracts e para construção da camada de coleta de dados para abastecimento do Blockchain.

Nesta proposta, levanta-se a possibilidade de discussão das atividades de uma cadeia de suprimentos de maneira disruptiva, alterando a disponibilização de informações de maneira sequencial conforme as atividades estão sendo realizadas para um compartilhamento descentralizado em tempo real para todos os participantes da cadeia de suprimentos, fazendo com que seja possível garantir a integridade dos processos transacionais ao mesmo tempo que se compartilham as informações relevantes e pertinentes aos participantes inclusos na rede.

A segurança da informação garantida pela criptografia e pelas demais características da tecnologia favorecem muito a indústria farmacêutica que necessita de controle de todas as etapas do processo, incluindo o registro dos *batch records* de cada um dos lotes de produção, atendimento de diversos requisitos regulatórios e gerenciamento de fornecedores homologados ao redor do mundo em sistemas cujas licenças de operação possuem validade definida. A complexidade desse tipo de indústria fortalece ainda mais os benefícios obtidos a partir da implantação de Blockchain na operação com coletas de dados operacionais e processuais que podem ser compartilhados inclusive com as entidades regulatórias em tempo real aumentando ao máximo a segurança e a transparência de sua cadeia de suprimentos respeitando-se os requisitos de segurança da informação e sigilo de dados que pode ser configurado em um *Smart Contract*.

O funcionamento da simulação com sucesso em um elo da cadeia de suprimentos confirma que ele é replicável para os demais elos da cadeia de suprimentos, viabilizando a possibilidade de implantação ponta a ponta dessa tecnologia, trazendo escalabilidade para a aplicação da tecnologia como uma resposta para o problema de interoperabilidade da cadeia de suprimentos.

A interoperabilidade da cadeia de suprimentos se torna eficiente a partir do momento que cada um dos participantes se conecta ao Blockchain permitindo o compartilhamento descentralizado das informações da operação favorecendo o controle dos desvios, alternativas e possibilidades de proatividade na solução dos problemas. A rastreabilidade de todos os eventos é garantida pela própria tecnologia e pela ligação dos blocos por meio dos códigos hash criados nas transações e o custo transacional é relativamente baixo.

Observa-se adicionalmente, que os custos transacionais de uma entrada de dados e criação de bloco é relativamente muito mais baixo (0,000237323594801145 Ether) do que os custos transacionais da compilação de um Smart Contract (0,06034872392839152 Ether) sendo a cotação do Ether hoje (25/01/2022) R\$ 13.605,29, a transação custaria R\$ 3,23 e a compilação (criação do bloco) do Smart Contract custaria R\$ 821,06. Isso mostra que a realização das transações em Blockchain oferece menor custo do que soluções de registros tradicionais relacionadas por exemplo com comércio exterior ou registro de

documentos, com a facilidade da obrigação de execução do *Smart Contract* (custo transacional) para entrada dos dados na rede.

O custo de implantação de contratos inteligentes e execução de transações no Blockchain traz uma limitação da abordagem no sentido da limitação de micro e pequenas empresas e fabricantes de produtos de baixo valor agregado relacionados à viabilidade financeira e econômica da implementação dessa tecnologia, uma vez que este custo padronizado e negociado dentro do ambiente Blockchain em tempo real, para cada uma das transações, pode refletir em um alto custo operacional quando executado milhares de vezes em uma operação ponta a ponta.

Outro aspecto que pode limitar a aplicação do modelo está no limite tecnológico, porque, apesar de todos os avanços e desenvolvimentos importantes no Blockchain, a aplicação dessa tecnologia ainda possui com vários desafios a serem superados. Um desses está relacionado ao problema de escalabilidade da rede. Este problema se origina quando os sistemas Blockchain crescem em volume de dados, o número de usuários, ou transações, aumentando a demanda por armazenamento de dados e capacidade de processamento.

O sucesso no funcionamento da simulação nos permite confirmar a proposta inicial deste trabalho e considerar que a replicação destas operações ponta a ponta é possível e viável de modo a garantir que a aplicação em larga escala funciona da maneira proposta por este trabalho.

O fluxo físico de produtos e dos processos de transformação não se alteram a partir da implementação do Blockchain na cadeia de suprimentos farmacêutica uma vez que os processos de produção e as restrições físicas relacionadas às atividades de transformação e a necessidade de controle regulatório da cadeia de suprimentos.

Tal situação não impede em outras cadeias de suprimento que existam algumas interações não lineares entre os parceiros da cadeia de suprimentos, porém a limitação dos processos de fabricação ainda existem e podem ser desafiadores nos modelos tradicionais. A colheita de uma fruta, por exemplo, sempre será feita antes do processamento dessa mesma fruta em uma fábrica, independentemente de quão digitalizado é o processo de gestão de informação dessa cadeia de suprimentos.

O aumento de transparência e segurança nos processos, desde o início da cadeia de suprimentos, vindo como resultado da implantação do Blockchain é um dos principais pontos para melhor preparação dos participantes da cadeia de suprimentos e com um maior nível de interação é esperado um aumento de performance dos participantes com um maior nível de segurança, transparência e confidencialidade dos parceiros e das informações conforme desenhado e delimitado nos *Smart Contracts*.

6. CONCLUSÃO

A conclusão deste trabalho remete ao entendimento dos benefícios que o Blockchain pode trazer na gestão da cadeia de suprimentos, em diferentes aspectos, destacando-se os resultados sobre rastreabilidade, confiabilidade e interoperabilidade entre as etapas do fluxo de produtos e informações. Completando-se o resultado desta pesquisa, confirma-se a proposta de um novo modelo de operação e integração da cadeia e suprimentos utilizando a tecnologia Blockchain.

O objetivo principal deste trabalho se cumpre na apresentação de um novo modelo de gerenciamento de uma cadeia de suprimentos farmacêutica a partir da elaboração de uma abordagem e um modelo descentralizado de operação. O modelo descentralizado é validado a partir de uma simulação efetuada em ambiente Blockchain para verificação da geração dos blocos de dados e observação da disponibilidade da informação aos demais usuários da cadeia de suprimentos utilizada no modelo.

Os objetivos específicos também são atingidos para garantir a integridade e consistência na construção da solução do objetivo principal no modelo apresentado. Isso significa que todos os pontos adotados neste trabalho e direcionam ao desenvolvimento das atividades relacionadas à pesquisa e à elaboração da simulação.

Os fatores da interoperabilidade da cadeia de suprimentos são identificados, compreendidos e estão relacionados à capacidade de troca de informações entre os elos da cadeia de suprimentos, garantindo o envio e recebimento de informações entre os parceiros, por meio da conexão entre seus sistemas. Nesse modelo, há o compartilhamento de informações entre os elos da cadeia de suprimentos, assim como sua relação sobre riscos de ruptura são avaliados e apresentados.

Os critérios para assegurar a rastreabilidade de produtos em cadeias de suprimentos são definidos e utilizados como referência para coleta de dados. As variáveis de controle de informação utilizadas no rastreamento de produtos, gerenciamento e compartilhamento de informações em uma cadeia de suprimentos são identificadas no trabalho e utilizadas posteriormente para definição e validação do modelo proposto.

A cadeia de suprimentos é mapeada com o modelo SCOR escolhido após estudo e organização do referencial teórico e permite a identificação de atributos de funcionalidade

das relações entre os agentes da cadeia, porque oferece estrutura padronizada para a replicação do estudo em outro tipo de negócio e também oferece segurança para execução do mapeamento e identificação de todas as atividades importantes de contato entre mundo físico e coletas de informação para o mundo digital.

Diferentes modelos de negócio com aplicação de Blockchain são identificados e estudados na preparação da fundamentação teórica e são utilizados para sustentação do trabalho.

O desempenho proporcionado pela aplicação do Blockchain na cadeia de suprimentos é observado no trabalho a partir da criação e compartilhamento das informações por meio dos blocos criados na simulação, incluindo velocidade e custos transacionais apresentados ao longo do trabalho.

A simulação do novo modelo conceitual é apresentada como passo de validação da proposta inicial permitindo o cumprimento do objetivo principal deste trabalho.

Adicionalmente, para o desenvolvimento da simulação, é escolhida uma atividade no elo da cadeia de suprimentos desenhada com base em um mapeamento padronizado com modelo SCOR, para avaliar o resultado da aplicação e a possibilidade de solucionar o problema da interoperabilidade de cadeia de suprimentos a partir da implementação de Blockchain.

O método utilizado para execução do mapeamento garante a aplicabilidade do modelo criado neste trabalho pela sua padronização e a replicabilidade do estudo se garante a partir da abordagem realizada, que se inicia com avaliação dos trabalhos científicos da área e desenvolvimento racional do estudo.

Existem diferentes possibilidades de aplicação do conteúdo desenvolvido nesse trabalho em diferentes cadeias de suprimento em outros níveis de complexidade de modo a repetir ou exemplificar o uso de Blockchain no gerenciamento das cadeias de suprimento, em abordagens ponta a ponta ou desenvolvimento de softwares *front-end* para interação com usuários da cadeia de suprimentos ou tecnologia IoT.

As características do Blockchain e do Ethereum estão apresentadas e pode-se entender que independentemente da plataforma utilizada para aplicação em uma operação, cadeia de suprimentos ou negócio, é necessária a utilização de uma estrutura mínima para organização da tecnologia, organização dos dados e processamento das regras refletidas

no *Smart Contract*. Adicionalmente, as plataformas não possuem versão acadêmica o que algumas vezes pode limitar estudos e aprofundamentos de pesquisadores.

As regras do Ethereum e a estrutura escolhida de combinação do Remix IDE e Metamask, como plataforma de carteira virtual e estruturação de nó, permite a operação da simulação de maneira controlada, contornando as necessidades de investimento de altos valores em compra de moeda virtual para simulação. As moedas virtuais utilizadas são obtidas dentro do ambiente colaborativo de programadores indicando o caminho para futuras pesquisas em Blockchain para pesquisadores que tenham limitação de gastos para realização do trabalho.

A validação é realizada a partir da configuração de apenas um *light node* e uma conta em carteira virtual, simulando a ação de 5 atores em uma única conta. Isso delimita o trabalho em termos de abrangência e tamanho da cadeia de suprimentos simulada, sendo possível sugerir a execução de novas pesquisas, combinando diferentes atores em contas individuais interagindo entre si por meio de um *Smart Contract*.

Observa-se pelas características da tecnologia que tal abordagem exige maior esforço de parametrização dos nós, configurações das contas individuais de cada um dos atores e maior esforço de programação no desenho de cada uma das relações entre esses participantes, favorecendo o aprofundamento do estudo em questão.

Adicionalmente, pelos resultados obtidos, pode-se observar uma limitação com relação a comparação dos custos transacionais. Como as operações identificadas e mapeadas em SCOR não tem o custo apropriado, não é possível fazer qualquer tipo de comparação entre as transações reais e as transações simuladas em termos de custos. Isso abre espaço para mais uma oportunidade de pesquisa para avaliação e comprovação do que se pode observar de diversos autores sobre o menor custo transacional do Blockchain quando comparado com transações reais.

Portanto, pode-se concluir que a execução desta pesquisa se deu de maneira consistente e foi validada por meio da simulação trazendo a proposta de um modelo diferenciado de operação de uma cadeia de suprimentos. Além disso, abre-se caminho para novas discussões relacionadas a novos modelos de gestão da informação em uma cadeia de suprimentos a partir da construção do fluxo descentralizado na interação de participantes apresentada neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDO-TENKORANG, R.; GWANGWAVA, N.; OGUNMUYIWA, E. N.; UDE, A. U. (2019). Advanced animal track-&-trace supply-chain conceptual framework: An internet of things approach. *Procedia Manufacturing*, 30, 56–63.

APICS. (2017). *Supply Chain Operations Reference Model*. *Logistics Information Management*, 10(2), 62–67.

AICH, S.; CHAKRABORTY, S.; SAIN, M.; LEE, H. I.; KIM, H. C. (2019). A Review on Benefits of IoT Integrated Blockchain based Supply Chain Management Implementations across Different Sectors with Case Study. *International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT*, 2019-Febru, 138–141.

ALSHAHRANI, W.; ALSHAHRANI, R. (2021). Assessment of Blockchain technology application in the improvement of pharmaceutical industry. *2021 International Conference of Women in Data Science at Taif University*, 2021.

ASLAM, J.; SALEEM, A.; KHAN, N. T.; KIM, Y. B. (2021). Factors influencing blockchain adoption in supply chain management practices: A study based on the oil industry. *Journal of Innovation and Knowledge*, 6(2), 124–134.

BALASUBRAMANIAN, S.; SHUKLA, V.; SETHI, J. S.; ISLAM, N.; SALOUM, R. (2021). A readiness assessment framework for Blockchain adoption: A healthcare case study. *Technological Forecasting and Social Change*, 165.

BARALLA, G.; PINNA, A.; TONELLI, R.; MARCHESI, M.; IBBA, S. (2020). Ensuring transparency and traceability of food local products: A blockchain application to a Smart Tourism Region. *Concurrency Computation*.

BASKER, E. (2012). Raising the barcode scanner: Technology and productivity in the retail sector. *American Economic Journal: Applied Economics*, 4(3), 1–27.

BATWA, A.; NORRMAN, A. (2020). A framework for exploring blockchain technology in *Supply Chain* management. *Operations and Supply Chain Management*, 13(3), 294–306.

BERTOLINI, M.; BEVILACQUA, M.; MASSINI, R. (2006). FMECA approach to product traceability in the food industry. *Food Control*, 17(2), 137–145.

BHATT, T.; ZHANG, J. J. (2013). Food product tracing technology capabilities and interoperability. *Journal of Food Science*, 78 Suppl 2, B28-33.

BHUTTA, M. K. S.; MUZAFFAR, A.; EGILMEZ, G.; HUQ, F.; WARRIACH, M. A.; MALIK, M. N. (2021). Environmental Sustainability, Innovation Capacity, and Supply Chain Management Practices Nexus: A Mixed Methods Research Approach. *Sustainable Production and Consumption*.

BORRERO, J. D. (2019). Agri-food *Supply Chain* traceability for fruit and vegetable cooperatives using Blockchain technology. *CIRIEC-Espana Revista de Economia Publica, Social y Cooperativa*, 95, 71–94.

BOTCHA, K. M.; CHAKRAVARTHY, V. V.; ANURAG, A. (2019). Enhancing traceability in pharmaceutical supply chain using internet of things (iot) and blockchain. *Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Intelligent Systems and Green Technology, ICISGT 2019*, 45–48.

BUCHMANN, J. (2013) *Introduction to cryptography*. Springer Science & Business Media.

BUDAK, A.; ÇOBAN, V. (2021). Evaluation of the impact of blockchain technology on supply chain using cognitive maps. *Expert Systems with Applications*, 184.

BULUT, A. (2018). Cryptocurrencies in the new economy. *Journal of International Trade, Logistics and Law*, 4(2), 45–52.

BUMBLAUSKAS, D.; MANN, A.; DUGAN, B.; RITTMER, J. (2020). A blockchain use case in food distribution: Do you know where your food has been? *International Journal of Information Management*, 52, 102008.

CATALDO, A.; GRIECO, A.; PRETE, A. DEL; CANNAZZA, G.; BENEDETTO, E. DE. (2016). Innovative method for traceability of hides throughout the leather manufacturing process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86(9–12), 3563–3570.

CENTOBELLI, P.; CERCHIONE, R.; DEL, P.; OROPALLO, E.; SECUNDO, G. (2021). Information & Management Blockchain technology for bridging trust, traceability and transparency in circular supply chain. *Information & Management*, July, 103508.

CHILMON, B.; TIPI, N. S. (2020). Modelling and simulation considerations for an end-to-end supply chain system. *Computers and Industrial Engineering*, 150(September), 106870.

CORONADO MONDRAGON, A. E.; CORONADO MONDRAGON, C. E.; CORONADO, E. S. (2015). Understanding transferable *Supply Chain* lessons and practices to a “high-tech” industry using guidelines from a primary sector industry: A case study in the food industry *Supply Chain*. *Scientific World Journal*, 2015.

CORRÊA, H. L.; PAULO, S. (2013). *Supply Chain Management in Latin America: The Brazilian Pharmaceutical Industry Case*. *Icieom*, 1–19.

CHUNG, C. A. *Simulation modeling handbook: a practical approach*. Florida: CRC Press, 2004.

DABBENE, F.; GAY, P. (2011). Food traceability systems: Performance evaluation and optimization. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(1), 139–146.

DAS, M., TAO, X.; LIU, Y.; CHENG, J. C. P. (2022). A blockchain-based integrated document management framework for construction applications. *Automation in Construction*, 133 (February 2021), 104001.

DE VILLIERS, C.; KURUPPU, S.; DISSANAYAKE, D. (2021). A (new) role for business – Promoting the United Nations’ Sustainable Development Goals through the internet-of-things and blockchain technology. *Journal of Business Research*, 131(December 2020), 598–609.

DI FRANCESCO MAESA, D.; MORI, P. (2020). Blockchain 3.0 applications survey. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 138, 99–114.

DIETRICH, F.; GE, Y.; TURGUT, A.; LOUW, L.; PALM, D. (2021). Review and analysis of blockchain projects in supply chain management. *Procedia Computer Science*, 180(2019), 724–733.

DING, B. (2018). Pharma Industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical *Supply Chains*. *Process Safety and Environmental Protection*, 119, 115–130.

DING, Y.; JIANG, Y.; WU, L.; ZHOU, Z. (2021). Two-echelon *Supply Chain* network design with trade credit. *Computers and Operations Research*, 131.

DUARTE, R. N. Simulação computacional: análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de autopeças. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UNIFEI, Itajubá/MG, 2003.

EL BAZ, J.; RUEL, S. (2021). Can supply chain risk management practices mitigate the disruption impacts on supply chains' resilience and robustness? Evidence from an empirical survey in a COVID-19 outbreak era. *International Journal of Production Economics*, 233(June 2020).

EL MOKRINI, A.; KAFA, N.; DAFAOUI, E.; EL MHAMED, A.; BERRADO, A. (2016). Evaluating outsourcing risks in the pharmaceutical *Supply Chain*: Case of a multi-criteria combined fuzzy AHP-PROMETHEE approach. *IFAC-PapersOnLine*, 49(28), 114–119.

FERRARI, F.; STRIANI, R.; MINOSI, S.; DE FAZIO, R.; VISCONTI, P.; PATRONO, L.; CATARINUCCI, L.; ESPOSITO CORCIONE, C.; GRECO, A. (2020). An innovative IoT-oriented prototype platform for the management and valorisation of the organic fraction of municipal solid waste. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119618.

FOSSO WAMBA, S.; QUEIROZ, M. M.; TRINCHERA, L. (2020). Dynamics between blockchain adoption determinants and *Supply Chain* performance: An empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 229.

GARRIDO, A.; RAMÍREZ LÓPEZ, L. J.; ÁLVAREZ, N. B. (2021). A simulation-based AHP approach to analyze the scalability of EHR systems using blockchain technology in healthcare institutions. *Informatics in Medicine Unlocked*, 24.

GNIMPIEBA, Z. D. R.; NAIT-SIDI-MOH, A.; DURAND, D.; FORTIN, J. (2015). Using Internet of Things Technologies for a Collaborative *Supply Chain*: Application to Tracking of Pallets and Containers. *Procedia Computer Science*, 56, 550–557.

GREST, M.; LAURAS, M.; MONTARNAL, A.; SARAZIN, A.; BOUSSEAU, G. (2019). A Meta Model for a Blockchain-based Supply Chain Traceability. Proceedings of the 2019 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IESM 2019.

GS1. (2019). Tudo que você precisa saber sobre código de barras. Associação Brasileira de Automação, 21.

GUPTA, M. Blockchain for dummies. IBM Limited Edition. (2017).

GUPTA, S.; RAJIAH, P.; MIDDLEBROOKS, E. H.; BARUAH, D.; CARTER, B. W.; BURTON, K. R.; CHATTERJEE, A. R.; MILLER, M. M.; FAGGION, C. M.; DIAZ, K. T. (2019). Overview authors rarely defined systematic reviews that are included in their overviews. *Journal of Clinical Epidemiology*, 25(11), 1481–1490.

HAJIPOUR, V.; TAVANA, M.; DI CAPRIO, D.; AKHGAR, M.; JABBARI, Y. (2019). An optimization model for traceable closed-loop *Supply Chain* networks. *Applied Mathematical Modelling*, 71, 673–699.

HECHAVARRÍA, RODNEY; LÓPEZ, G. (2013). Building Scalable and Global RFID Networks. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).

HELO, P.; HAO, Y. (2019). Blockchains in operations and *Supply Chains*: A model and reference implementation. *Computers and Industrial Engineering*, 136.

HOSSEINI BAMAKAN, S. M.; GHASEMZADEH MOGHADDAM, S.; DEGHAN MANSHADI, S. (2021). Blockchain-enabled pharmaceutical cold chain: Applications, key challenges, and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 302, 127021.

HUO, H. (2011). Research on retail enterprise supply chain risk identification based on SCOR. 2011 International Conference on Management Science and Industrial Engineering, MSIE 2011, 1302–1305.

IGNÁCIO, P. S. A. (2010) Proposta de um modelo para mensuração do desempenho dos serviços logísticos. Tese (Doutorado em Engenharia Civil na área de concentração de Transportes). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas. 2010.

INTERFARMA. (2019). Guia 2019. Associação Da Indústria Farmacêutica de Pesquisa, 1–38.

IRANNEZHAD, M.; SHOKOUHYAR, S.; AHMADI, S.; PAPAGEORGIOU, E. I. (2021). *Journal Applied Soft Computing*, 107832.

IRWIN, J. D. (2002). Academic Press Series in Engineering. *Supply Chain Design and Management*, II.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; PAREKH, H.; JOSHI, S. (2019). Modeling the internet of things adoption barriers in food retail *Supply Chains*. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 48, 154–168.

KAMBLE, S S, GUNASEKARAN, A., & SHARMA, R. (2020). Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. *International Journal of Information Management*, 52.

KAMBLE, SACHIN S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. (2020). Achieving sustainable performance in a data-driven agriculture supply chain: A review for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 219, 179–194.

KÖHLER, P. N.; MÜLLER, M. A.; PANNEK, J.; ALLGÖWER, F. (2021). Distributed economic model predictive control for cooperative supply chain management using customer forecast information. *IFAC Journal of Systems and Control*, 15.

KSHETRI, N. (2021). Blockchain and sustainable supply chain management in developing countries. *International Journal of Information Management*, 60.

KUMAR, V.; KOEHL, L.; ZENG, X. (2016). A fully yarn integrated tag for tracking the international textile *Supply Chain*. *Journal of Manufacturing Systems*, 40, 76–89.

LAMBERT, D. M. (2014). *Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance*, Fourth Edition. Ponte Vedra Beach, FL: Supply Chain Management Institute, 1–22.

LAMBERT, D. M.; ENZ, M. G. (2017). Issues in *Supply Chain Management: Progress and potential*. *Industrial Marketing Management*, 62, 1–16.

LEMGHARI, R.; OKAR, C.; SARSRI, D. (2018). *Supply Chain performance measurement: A case study about applicability of scor® model in automotive industry firm*. *MATEC Web of Conferences*, 200.

LEJARZA, F.; PISTIKOPOULOS, I.; BALDEA, M. (2021). A scalable real-time solution strategy for supply chain management of fresh produce: A Mexico-to-United States cross border study. *International Journal of Production Economics*, 240.

LEPORI, E.; DAMAND, D.; BARTH, B. (2013). Benefits and limitations of the SCOR model in warehousing. In *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* (Vol. 46, Issue 9). IFAC.

LIM, M. K.; LI, Y.; WANG, C.; TSENG, M. L. (2021). A literature review of blockchain technology applications in supply chains: A comprehensive analysis of themes, methodologies and industries. *Computers and Industrial Engineering*, 154.

LU, W.; LI, X.; XUE, F.; ZHAO, R.; WU, L.; YE, H. A. G. O. (2021). Exploring smart construction objects as blockchain oracles in construction supply chain management. *Automation in Construction*, 129.

MARQUES, C. M.; MONIZ, S.; SOUSA, J. P. [de, Barbosa-Povoa, A. P.; REKLAITIS, G. (2020). Decision-support challenges in the chemical-pharmaceutical industry: Findings and future research directions. *Computers & Chemical Engineering*, 134.

MEHTA, D.; TANWAR, S.; BODKHE, U.; SHUKLA, A.; & KUMAR, N. (2021). Blockchain-based royalty contract transactions scheme for Industry 4.0 supply-chain management. *Information Processing and Management*, 58.

METAMASK., Support Community. Disponível em: <https://community.metamask.io/c/support/5>. Acesso em 22 de jan. 2022.

MIN, H. (2019). Blockchain technology for enhancing *Supply Chain* resilience. *Business Horizons*, 62(1), 35–45.

MOKHESENG, M.; HORN, G. S.; KLOPPER, A. G. (2017). *Supply Chain* solutions to improve the distribution of antiretroviral drugs (ARVs) to clinics in rural areas: A case study of the QwaQwa district. *Health SA Gesondheid*, 22, 93–104.

MUBARIK, M. S.; NAGHAVI, N.; MUBARIK, M.; KUSI-SARPONG, S.; KHAN, S. A.; ZAMAN, S. I.; KAZMI, S. H. A. (2021). Resilience and cleaner production in industry 4.0: Role of supply chain mapping and visibility. *Journal of Cleaner Production*, 292.

MUSA, A.; GUNASEKARAN, A.; YUSUF, Y. (2014). *Supply Chain* product visibility: Methods, systems and impacts. *Expert Systems with Applications*, 41(1), 176–194.

- NTABE, E. N.; LEBEL, L.; MUNSON, A. D.; SANTA-EULALIA, L. A. (2015). A systematic literature review of the *Supply Chain Operations Reference (SCOR)* model application with special attention to environmental issues. *International Journal of Production Economics*, 169, 310–332.
- OZKAN-OZEN, Y. D.; KAZANCOGLU, Y.; KUMAR MANGLA, S. (2020). Synchronized barriers for circular supply chains in industry 3.5/industry 4.0 transition for sustainable resource management. *Resources, Conservation and Recycling*, 161.
- PAN, S.; TRENTESAUX, D.; MCFARLANE, D.; MONTREUIL, B.; BALLOT, E.; HUANG, G. Q. (2021). Digital interoperability and transformation in logistics and supply chain management: Editorial. *Computers in Industry*, 129.
- PAN, X.; PAN, X.; SONG, M.; AI, B.; MING, Y. (2020). Blockchain technology and enterprise operational capabilities: An empirical test. *International Journal of Information Management*, 52.
- PAPETTI, P.; COSTA, C.; ANTONUCCI, F.; FIGORILLI, S.; SOLAINI, S.; MENESATTI, P. (2012). A RFID web-based infotracing system for the artisanal Italian cheese quality traceability. *Food Control*, 27(1), 234–241.
- PERRONS, R. K.; COSBY, T. (2020). Applying blockchain in the geoenergy domain: The road to interoperability and standards. *Applied Energy*, 262.
- PERSSON, F. (2011). SCOR template - A simulation based dynamic *Supply Chain* analysis tool. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 288–294.
- QIAN, J. P.; YANG, X. T.; WU, X. M.; ZHAO, L.; FAN, B. L.; XING, B. (2012). A traceability system incorporating 2D barcode and RFID technology for wheat flour mills. *Computers and Electronics in Agriculture*, 89, 76–85.
- RAMIREZ-PEÑA, M.; SÁNCHEZ SOTANO, A. J.; PÉREZ-FERNANDEZ, V.; ABAD, F. J.; BATISTA, M. (2020). Achieving a sustainable shipbuilding supply chain under I4.0 perspective. *Journal of Cleaner Production*, 244.
- REMIX-IDE., Remix Documentation. Disponível em: <https://remix-ide.readthedocs.io/en/latest/>. Acesso em 14 de jan. 2022.
- ROBERT K. YIN. (2001). *Estudo de Caso - Planejamento e Métodos (2a Edição)*. Bookman.

ROBINSON, E. *Simulation: the practice of model development and use*. England: John Wiley and Sons Ltd., 2004.

SABOUHI, F.; SAEED JABALAMELI, M.; JABBARZADEH, A. (2021). An optimization approach for sustainable and resilient *Supply Chain* design with regional considerations. *Computers & Industrial Engineering*, 107510.

SAIKOUK, T.; SPALANZANI, A. (2016). Review, typology and evaluation of traceability technologies: Case of the French forest *Supply Chain*. *Supply Chain Forum*, 17(1), 39–53.

SALCEDO-DIAZ, R.; RUIZ-FEMENIA, J. R.; AMAT-BERNABEU, A.; CABALLERO, J. A. (2021). A cooperative game strategy for designing sustainable supply chains under the emissions trading system. *Journal of Cleaner Production*, 285.

SANKA, A. I.; IRFAN, M., HUANG, I.; CHEUNG, R. C. C. (2021). A survey of breakthrough in blockchain technology: Adoptions, applications, challenges and future research. *Computer Communications*, 169.

SHARMA, R.; KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; KUMAR, V.; KUMAR, A. (2020). A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture *Supply Chain* performance. *Computers & Operations Research*, 119.

SMITH, M. J. (2019). Getting value from artificial intelligence in agriculture. *Animal Production Science*, 60(1), 46–54.

STADTLER, H. (2005). *Supply Chain* management and advanced planning—basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research*, 163, 575–588.

STOCK, J. R.; BOYER, S. L.; HARMON, T. (2010). Research opportunities in *Supply Chain* management. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 38, 32–41.

SUNMOLA, F. T. (2021). Context-Aware Blockchain-Based Sustainable Supply Chain Visibility Management. *Procedia Computer Science*, 180(2019), 887–892.

TAN, A.; THI, N. P. (2020). A Proposed Framework model for dairy *Supply Chain* traceability. *Sustainable Futures*, 100034.

TAVARES, P., IGNÁCIO, P. (2019). A utilização de Blockchain na Cadeia de Suprimentos Internacional. 1–15.

TONELLI, F.; DEMARTINI, M.; PACELLA, M.; LALA, R. (2021). Cyber-physical systems (CPS) in supply chain management: From foundations to practical implementation. *Procedia CIRP*, 99, 598–603.

TÖNNISSEN, S.; TEUTEBERG, F. (2020). Analysing the impact of blockchain-technology for operations and supply chain management: An explanatory model drawn from multiple case studies. *International Journal of Information Management*, 52.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. (2012). Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 191.

UDDIN, M. A.; STRANIERI, A.; GONDAL, I.; BALASUBRAMANIAN, V. (2021). A Survey on the Adoption of Blockchain in IoT: Challenges and Solutions. *Blockchain: Research and Applications*, 100006.

VAN EIJK, N. (2013). Duties of Care on the Internet. Ethical, Legal and Political Challenges. In *The Secure Information Society*.

VEGTER, D.; VAN HILLEGERSBERG, J.; OLTHAAR, M. (2020). Supply chains in circular business models: processes and performance objectives. *Resources, Conservation and Recycling*, 162.

YADAV, V. S.; SINGH, A. R.; RAUT, R. D.; GOVINDARAJAN, U. H. (2020). Blockchain technology adoption barriers in the Indian agricultural supply chain: an integrated approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 161.

YAN, C.; HUANHUAN, F.; ABLIKIM, B.; ZHENG, G.; XIAOSHUAN, Z.; JUN, L. (2018). Traceability information modeling and system implementation in Chinese domestic sheep meat *Supply Chains*. *Journal of Food Process Engineering*, 41.

YAN, W.; XIONG, Y.; CHU, J.; LI, G.; XIONG, Z. (2018). Clicks versus Bricks: The role of durability in marketing channel strategy of durable goods manufacturers. *European Journal of Operational Research*, 265, 909–918.

YLIKOSKI, P. (2018). Mechanism-based theorizing and generalization from case studies. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 78(July 2018), 14–18.

ZENG, L.; LIU, S. Q.; KOZAN, E.; CORRY, P.; MASOUD, M. (2021). A comprehensive interdisciplinary review of mine supply chain management. *Resources Policy*, 74.

APÊNDICE A

Apêndice A - Quadro de referências por tema:

(continua)

N	Referência	Cadeias de Suprimento	SCOR	Interoperabilidade	Tecnologias da Cadeia de Suprimentos	Blockchain	Farmacêutico	Rastreabilidade	Metodologias
1	(KÖHLER <i>et al.</i> , 2021)	X							
2	(STADTLER, 2005)	X							
3	(IRWIN, 2002).	X							
4	(LAMBERT, 2014)	X							
5	(DING <i>et al.</i> , 2021)	X							
6	(ZENG <i>et al.</i> , 2021)	X							
7	(SAIKOUK; SPALANZANI, 2016)	X							
8	(HAJIPOUR <i>et al.</i> , 2019)	X							
9	(KAMBLE <i>et al.</i> , 2019)	X							
10	(LEJARZA <i>et al.</i> , 2021)	X							
11	(DHYEY, 2021)	X							
12	(AICH <i>et al.</i> , 2019)	X							
13	(SALCEDO-DIAZ <i>et al.</i> , 2021)	X							
14	(MOKHESENG <i>et al.</i> , 2017)	X							
15	(LAMBERT; ENZ, 2017)	X							
16	(BUDAK; ÇOBAN, 2021)	X							
17	(MUSA <i>et al.</i> , 2014)	X			X		X	X	
18	(SABOUHI <i>et al.</i> , 2021)	X					X		
19	(FOSSO <i>et al.</i> , 2020)	X							
20	(PERSSON, 2011)	X	X						
21	(LEMGHARI <i>et al.</i> , 2018)	X	X						
22	(HUO, 2011)	X	X						
23	(IGNÁCIO, 2010)	X	X						
24	(APICS, 2017)		X						
25	(VEGTER <i>et al.</i> , 2020)	X	X						
26	(KAMBLE <i>et al.</i> , 2020)	X	X						
27	(CHILMON; TIPI, 2020)	X	X						
28	(MUBARIK <i>et al.</i> , 2021)	X	X						
29	(BHATT; ZHANG, 2013)			X					
30	(TONELLI <i>et al.</i> , 2021)			X			X		
31	(PAN <i>et al.</i> , 2021)			X					
32	(MUBARIK <i>et al.</i> , 2021)	X		X					
33	(BOTCHA <i>et al.</i> , 2019)	X					X		

Apêndice A - Quadro de referências por tema

(continuação)

N	Referência	Cadeias de Suprimento	SCOR	Interoperabilidade	Tecnologias da Cadeia de Suprimentos	Blockchain	Farmacêutico	Rastreabilidade	Metodologias
34	(PERRONS; COSBY, 2020)	X				X			
35	(ADDO-TENKORANG et al., 2019)	X		X	X				
36	(RAMIREZ-PEÑA et al., 2020)			X	X				
37	(CATALDO et al., 2016)	X		X				X	
38	(GREST et al., 2019)	X		X	X	X			
39	(TAN; THI, 2020)	X		X		X		X	
40	(DABBENE; GAY, 2011)	X		X				X	
41	(BERTOLINI et al., 2006)	X						X	
42	(PAPETTI et al., 2012)	X			X			X	
43	(KUMAR et al., 2016)	X						X	
44	(BASKER, 2012)				X				
45	(HECHAVARRÍA; LÓPEZ, 2013)				X				
46	(BORRERO, 2019)	X			X				
47	(GNIMPIEBA et al., 2015)	X		X	X				
48	(EIJK, 2013)			X	X				
49	(YAN et al., 2018)				X				
50	(BERTOLINI et al., 2006)	X		X				X	
51	(GS1, 2019)				X				
52	(SÊNIOR 2021)				X				
53	(COGNEX 2021)				X				
54	(SANKA et al., 2021)					X			
55	(IRANNEZHAD et al., 2021)	X				X			
56	(TÖNNISSEN; TEUTEBERG, 2020)	X				X			
57	(GARRIDO et al., 2021)					X			
58	(de VILLIERS et al., 2021)				X	X			
59	(ASLAM et al., 2021)					X			
60	(CENTOBELLI et al., 2021)					X			
61	(TAVARES; IGNÁCIO, 2019)	X			X	X			
62	(BAMAKAN et al., 2021)					X			
63	(MAESA; MORI, 2020)					X			
64	(LU et al., 2021)					X			
65	(SUNMOLA, 2021)					X			
66	(BUMBLAUSKAS et al., 2020)	X		X		X			

APÊNDICE B

Apêndice B – Código do Contrato Inteligente da Simulação

```
// SPDX-License-Identifier: Tavares
```

```
pragma Solidity >=0.7.0 <0.9.0;
```

```
contract cadeia {
```

```
    event EmissaoPedidoFornecedor1 (address Fornecedor1, int16 DefBasicas1, int16 DefBasicas2, int16 DefBasicas3);
```

```
    event DespachoPedidoFornecedor1 (int16 NSU1, int16 Quantidade1, int16 Lote1, int16 NSU2, int16 Quantidade2, int16 Lote2, int16 NSU3, int16 Quantidade3, int16 Lote3);
```

```
    event EmitirNotaFornecedor1 (address Operador, int16 NSU1, int16 Quantidade1, int16 Preco1, int16 NSU2, int16 Quantidade2, int16 Preco2, int16 NSU3, int16 Quantidade3, int16 Preco3);
```

```
    event EmissaoPedidoFornecedor2 (address Fornecedor2, int16 DefBasicasA, int16 DefBasicasB, int16 DefBasicasC);
```

```
    event DespachoPedidoFornecedor2 (int16 NSUA, int16 QuantidadeA, int16 LoteA, int16 NSUB, int16 QuantidadeB, int16 LoteB, int16 NSUC, int16 QuantidadeC, int16 LoteC);
```

```
    event EmitirNotaFornecedor2 (address Operador, int16 NSUA, int16 QuantidadeA, int16 PrecoA, int16 NSUB, int16 QuantidadeB, int16 PrecoB, int16 NSUC, int16 QuantidadeC, int16 PrecoC);
```

```
    event ReceberProdutoProdutor(string hash);
```

```
    event ReceberNotaProdutor (address Fornecedor1, address Fornecedor2, int16 DefBasicas1, int16 DefBasicas2, int16 DefBasicas3, int16 DefBasicasA, int16 DefBasicasB, int16 DefBasicasC);
```

```
    event FabricarProdutor (address Operador, int16 DefBasicas1, int16 DefBasicas2, int16 DefBasicas3, int16 DefBasicasA, int16 DefBasicasB, int16 DefBasicasC);
```

```
    event ProducaoProduto1Produtor (string Produto1, address Distribuidor, int16 S, int16 Quantidade12B, int16 Preco12B);
```

```
    event ProducaoProduto2Produtor (string Produto2, int16 R, int16 Quantidade3AC, int16 Preco3AC);
```

```
    event DespachoPedidoProdutor1 (string Produto1, address Distribuidor, int16 S, int16 Quantidade12B, int16 Preco12B);
```

```
    event DespachoPedidoProdutor2 (string Produto2, address Distribuidor, int16 R, int16 Quantidade3AC, int16 Preco3AC);
```

```

event EmitirNotaProdutor1 (string Produto1, address Distribuidor, int16 S, int16
Quantidade12B, int16 Preco12B );

event EmitirNotaProdutor2 (string Produto2, address Distribuidor, int16 R, int16
Quantidade3AC, int16 Preco3AC);

event ReceberProdutoDistribuidor (string hash);

event ReceberNotaDistribuidor (address Operador, address Fornecedor1, address
Fornecedor2, int16 DefBasicas1, int16 DefBasicas2, int16 DefBasicas3, int16
DefBasicasA, int16 DefBasicasB, int16 DefBasicasC);

event DespachoPedidoDistribuidor (int16 DefBasicas1, int16 DefBasicas2, int16
DefBasicas3, int16 DefBasicasA, int16 DefBasicasB, int16 DefBasicasC);

event EmitirNotaDistribuidor (address Distribuidor, int16 DefBasicas1, int16
DefBasicas2, int16 DefBasicas3, int16 DefBasicasA, int16 DefBasicasB, int16
DefBasicasC);

event ReceberProdutoCliente1 (string hash);

event ReceberNotaCliente1 (int16 DefBasicas1, int16 DefBasicas2, int16 DefBasicas3);

struct DefBasicas1 {int16 NSU1; int16 Quantidade1; int16 Preco1; int16 Peso1; int16
Lote1; int16 Turno1;}

struct DefBasicas2 {int16 NSU2; int16 Quantidade2; int16 Preco2; int16 Peso2; int16
Lote2; int16 Turno2;}

struct DefBasicas3 {int16 NSU3; int16 Quantidade3; int16 Preco3; int16 Peso3; int16
Lote3; int16 Turno3;}

struct DefBasicasA {int16 NSUA; int16 QuantidadeA; int16 PrecoA; int16 PesoA; int16
LoteA; int16 TurnoA;}

struct DefBasicasB {int16 NSUB; int16 QuantidadeB; int16 PrecoB; int16 PesoB; int16
LoteB; int16 TurnoB;}

struct DefBasicasC {int16 NSUC; int16 QuantidadeC; int16 PrecoC; int16 PesoC; int16
LoteC; int16 TurnoC;}

struct NSU123ABC {int16 NSU1; int16 NSU2; int16 NSU3; int16 NSUA; int16 NSUB;
int16 NSUC;}

struct NSU123ABCrecebido {int16 NSU1_recebido; int16 NSU2_recebido; int16
NSU3_recebido; int16 NSUA_recebido; int16 NSUB_recebido; int16 NSUC_recebido;}

struct S { uint16 NSU1; uint16 NSU2; uint16 NSUB;}

int16 x;

mapping(uint16 => mapping(uint16 => S)) data1;

struct R { uint16 NSU3; uint16 NSUA; uint16 NSUC;}

int16 y;

mapping(uint16 => mapping(uint16 => R)) data2;

```

```

function APedidoFornecedor1 (address Fornecedor1, int16 DefBasicas1, int16
DefBasicas2, int16 DefBasicas3) public {
    emit EmissaoPedidoFornecedor1 (Fornecedor1, DefBasicas1, DefBasicas2,
DefBasicas3);}

function BPedidoFornecedor2 (address Fornecedor2, int16 DefBasicasA, int16
DefBasicasB, int16 DefBasicasC) public {
    emit EmissaoPedidoFornecedor2 (Fornecedor2, DefBasicasA, DefBasicasB,
DefBasicasC);}

function CDespachoFornecedor1 (int16 NSU1, int16 Quantidade1, int16 Lote1, int16
NSU2, int16 Quantidade2, int16 Lote2, int16 NSU3, int16 Quantidade3, int16 Lote3)
public {
    emit DespachoPedidoFornecedor1 (NSU1, Quantidade1, Lote1, NSU2, Quantidade2,
Lote2, NSU3, Quantidade3, Lote3);}

function DDespachoFornecedor2 (int16 NSUA, int16 QuantidadeA, int16 LoteA, int16
NSUB, int16 QuantidadeB, int16 LoteB, int16 NSUC, int16 QuantidadeC, int16 LoteC)
public {
    emit DespachoPedidoFornecedor2 (NSUA, QuantidadeA, LoteA, NSUB,
QuantidadeB, LoteB, NSUC, QuantidadeC, LoteC);}

function ENotaFornecedor1 (address Operador,int16 NSU1, int16 Quantidade1, int16
Preco1, int16 NSU2, int16 Quantidade2, int16 Preco2, int16 NSU3, int16 Quantidade3,
int16 Preco3) public {
    emit EmitirNotaFornecedor1 (Operador, NSU1, Quantidade1, Preco1, NSU2,
Quantidade2, Preco2, NSU3, Quantidade3, Preco3);}

function FNotaFornecedor2 (address Operador, int16 NSUA, int16 QuantidadeA, int16
PrecoA,int16 NSUB, int16 QuantidadeB, int16 PrecoB, int16 NSUC, int16 QuantidadeC,
int16 PrecoC) public {
    emit EmitirNotaFornecedor2 (Operador, NSUA, QuantidadeA, PrecoA, NSUB,
QuantidadeB, PrecoB, NSUC, QuantidadeC, PrecoC);}

function GReceberProdutoProd (string memory hash,int16 NSU123ABC, int16
NSU123ABCrecebido) public {
    emit ReceberProdutoProdutor (hash);
    assert (NSU123ABCrecebido==NSU123ABC);}

function HReceberNotaProd (address Fornecedor1, address Fornecedor2, int16
DefBasicas1, int16 DefBasicas2, int16 DefBasicas3, int16 DefBasicasA, int16
DefBasicasB, int16 DefBasicasC) public {
    emit ReceberNotaProdutor (Fornecedor1, Fornecedor2, DefBasicas1, DefBasicas2,
DefBasicas3, DefBasicasA, DefBasicasB, DefBasicasC);}

function IFabricarProd (address Operador, int16 DefBasicas1, int16 DefBasicas2, int16
DefBasicas3, int16 DefBasicasA, int16 DefBasicasB, int16 DefBasicasC) public {
    emit FabricarProdutor (Operador, DefBasicas1, DefBasicas2, DefBasicas3,
DefBasicasA, DefBasicasB, DefBasicasC);}

```

```

function JProducaoProduto1Prod (string memory Produto1, address Distribuidor, int16
S, int16 Quantidade12B, int16 Preco12B) public {
    emit ProducaoProduto1Produtor (Produto1, Distribuidor, S, Quantidade12B,
Preco12B);}

function KProducaoProduto2Prod (string memory Produto2, int16 R, int16
Quantidade3AC, int16 Preco3AC) public {
    emit ProducaoProduto2Produtor (Produto2, R, Quantidade3AC, Preco3AC);}

function LDespachoPedidoProd1 (string memory Produto1, address Distribuidor, int16
S, int16 Quantidade12B, int16 Preco12B) public {
    emit DespachoPedidoProdutor1 (Produto1, Distribuidor, S, Quantidade12B,
Preco12B);}

function MDespachoPedidoProd2 (string memory Produto2, address Distribuidor, int16
R, int16 Quantidade3AC, int16 Preco3AC) public {
    emit DespachoPedidoProdutor1 (Produto2, Distribuidor, R, Quantidade3AC,
Preco3AC);}

function NEmitirNotaProd1 (string memory Produto1, address Distribuidor, int16 S,
int16 Quantidade12B, int16 Preco12B) public {
    emit EmitirNotaProdutor1 (Produto1, Distribuidor, S, Quantidade12B, Preco12B);}

function OEmitirNotaProd2 (string memory Produto2, address Distribuidor, int16 R,
int16 Quantidade3AC, int16 Preco3AC) public {
    emit EmitirNotaProdutor2 (Produto2, Distribuidor, R, Quantidade3AC, Preco3AC)

function PReceberProdutoDist (string memory hash, int16 NSU123ABC, int16
NSU123ABCrecebido) public {
    emit ReceberProdutoDistribuidor (hash);
    assert (NSU123ABCrecebido==NSU123ABC);}

function QReceberNotaDist (address Operador, address Fornecedor1, address
Fornecedor2, int16 DefBasicas1, int16 DefBasicas2, int16 DefBasicas3, int16
DefBasicasA, int16 DefBasicasB, int16 DefBasicasC) public {
    emit ReceberNotaDistribuidor (Operador, Fornecedor1, Fornecedor2, DefBasicas1,
DefBasicas2, DefBasicas3, DefBasicasA, DefBasicasB, DefBasicasC);}

function RDespachoPedidoDist (int16 DefBasicas1, int16 DefBasicas2, int16
DefBasicas3, int16 DefBasicasA, int16 DefBasicasB, int16 DefBasicasC) public {
    emit DespachoPedidoDistribuidor (DefBasicas1, DefBasicas2, DefBasicas3,
DefBasicasA, DefBasicasB, DefBasicasC);}

function SEmitirNotaDist (address Distribuidor, int16 DefBasicas1, int16 DefBasicas2,
int16 DefBasicas3, int16 DefBasicasA, int16 DefBasicasB, int16 DefBasicasC) public {
    emit EmitirNotaDistribuidor (Distribuidor, DefBasicas1, DefBasicas2, DefBasicas3,
DefBasicasA, DefBasicasB, DefBasicasC);}

```

```
function TReceberProdutoClien1 (string memory hash, int16 NSU123ABC, int16
NSU123ABCcrecebido) public {
    emit ReceberProdutoCliente1 (hash);
    assert (NSU123ABCcrecebido==NSU123ABC);}

function UReceberNotaClien1 (int16 DefBasicas1, int16 DefBasicas2, int16
DefBasicas3) public {
    emit ReceberNotaCliente1 ( DefBasicas1, DefBasicas2, DefBasicas3);}

}
```

APÊNDICE C

Apêndice C – Código do Contrato Inteligente da Simulação em Linguagem de Baixo Nível (código binário)

```
0x608060405234801561001057600080fd5b50611794806100206000396000f3fe608060
405234801561001057600080fd5b50600436106101375760003560e01c806398955b081
16100b8578063ddeac79f1161007c578063ddeac79f146102e0578063e076c7f5146102fc
578063e0e8410f14610318578063e9ba9dae14610334578063eff21e4a14610350578063f
902e6d61461036c57610137565b806398955b0814610254578063ae47499c1461027057
8063b61ee0c01461028c578063cefc5b8d146102a8578063db7be96e146102c457610137
565b806368bfd5f6116100ff57806368bfd5f6146101c85780637f3d12b7146101e457806
37f714e85146102005780638d214b5f1461021c578063980d0dce1461023857610137565
b80631d992b481461013c578063388abc06146101585780633b8934bc14610174578063
4064e00f146101905780634f9998ee146101ac575b600080fd5b61015660048036038101
906101519190610ff8565b610388565b005b610172600480360381019061016d9190610
bcf565b6103da565b005b61018e60048036038101906101899190610ff8565b61041d565
b005b6101aa60048036038101906101a59190610bcf565b61046f565b005b6101c660048
036038101906101c19190610db7565b6104b2565b005b6101e260048036038101906101
dd9190610e97565b6104f2565b005b6101fe60048036038101906101f99190610a4f565b
610544565b005b61021a60048036038101906102159190610cd8565b610596565b005b6
1023660048036038101906102319190610f61565b6105eb565b005b6102526004803603
81019061024d9190610f61565b610631565b005b61026e6004803603810190610269919
0610c36565b610677565b005b61028a60048036038101906102859190610f61565b6106
c3565b005b6102a660048036038101906102a19190610b19565b610709565b005b6102c
260048036038101906102bd9190610e97565b610758565b005b6102de60048036038101
906102d99190610f61565b6107aa565b005b6102fa60048036038101906102f59190610ff
8565b6107f0565b005b61031660048036038101906103119190610c36565b610842565b
005b610332600480360381019061032d9190611067565b61088e565b005b61034e60048
036038101906103499190610e0a565b6108d1565b005b61036a60048036038101906103
659190610cd8565b61091a565b005b61038660048036038101906103819190610f61565
b61096f565b005b7fc3b057d39c24c62be71f64c13c7b1b99536313c5f984c011eca96296
a346f59e836040516103b791906114c1565b60405180910390a18160010b8160010b146
103d5576103d46116ad565b5b505050565b7fdeb8723cfd25fbae05cacd851753e5ad2acb
```

d56e5f75188d9610da2ff97e59308484848460405161040f949392919061124c565b6040
5180910390a150505050565b7f1d25400406044cb20fa1f43ba41996fa905bc664a53adaa
37cb5486b4f29de718360405161044c91906114c1565b60405180910390a18160010b816
0010b1461046a576104696116ad565b5b505050565b7fe7bd0cf34d0f8c2a61759b1d196
c74ae2909875228ca4c7c53ac581b0dcad394848484846040516104a4949392919061124
c565b60405180910390a150505050565b7f10159c3572ac0b089645075de808f54fddb58
4e322f9333b54bfe4f0716e7e278383836040516104e59392919061139c565b604051809
10390a1505050565b7f16ceeff0c0acb6d51b15b836d5b1e874eb27e255cf280fe35547d7d
f6b57112b89898989898989898960405161053199989796959493929190611434565b60
405180910390a1505050505050505050565b7f85500dad6a6336725f9511d8e27cc51272
97fb2321a92ce135f7c843193512e489898989898989898989604051610583999897969594
93929190611141565b60405180910390a15050505050505050565b7f964ff89587ccf2
15da14fbd92b63d7cd75efec6d2be81471be694e2e44ce16058a8a8a8a8a8a8a8a8a8a6040
516105d79a99989796959493929190611300565b60405180910390a1505050505050505
05050565b7f308a9ad14f7fa81dc6497b9ea820b00e71f19e80d7c4a3c5c30c4995ea2eb74
b85858585856040516106229594939291906114e3565b60405180910390a15050505050
565b7f2eadfddb93bdf08697935cbeaeba2e7f5ad92a8dc6f1003f334d2d2ce7e5daa08585
8585856040516106689594939291906114e3565b60405180910390a15050505050565b7
f05e3ce838f2a14be71bac150adeecdf174651700a3191733a82999bbf049f052878787878
787876040516106b29796959493929190611291565b60405180910390a1505050505050
50565b7f308a9ad14f7fa81dc6497b9ea820b00e71f19e80d7c4a3c5c30c4995ea2eb74b85
858585856040516106fa9594939291906114e3565b60405180910390a15050505050565
b7f991d4fac8cb0fb835204907b394b89cc1ef5afa5e45ccb080c547e932bb0c7188888888
8888888886040516107469897969594939291906111ce565b60405180910390a1505050
5050505050565b7f25efd72ff64bbefbe96bd87d0fc8c864a8cf842dadaa9ea3bec35dc8833
31e448989898989898989898960405161079799989796959493929190611434565b604051
80910390a1505050505050505050565b7ff2c4629e1274f7a8c292bf92104bc27beb4c14a
6aae2d04c04e5a280fb71683b8585858585856040516107e19594939291906114e3565b604
05180910390a15050505050565b7f4e492def27efc4fa8e0ae92045ee39b5489bf9b117d67
b330eff88b2cae5f4a18360405161081f91906114c1565b60405180910390a18160010b81
60010b1461083d5761083c6116ad565b5b505050565b7ffec4d7323a95de3d197258fdbe
4bedc651c9d2fbcfb5700b55b1410337188be6878787878787878760405161087d97969594
93929190611291565b60405180910390a150505050505050565b7f3e7b3a36eb16ec25bd

ad283e747286de1f52bf67ff9817fff3acce1e183567cc848484846040516108c394939291
9061153d565b60405180910390a150505050565b7faa2a5bbe09d1b5e9bfe166358fedd70
8a8da6da83c779c48d4aca6843e00fa1e868686868660405161090a969594939291906
113d3565b60405180910390a15050505050565b7fe7dde9367f2aedb04051f886d52ee
6baece5c9c79a83f429b241c3c6e21c0d058a8a8a8a8a8a8a8a8a8a60405161095b9a9998
9796959493929190611300565b60405180910390a150505050505050505050565b7f2f9e
a29c47a2f960a2ed5c0108f3ed34dfb7a097f4ed45c8d9c03f5f33731e1985858585856040
516109a69594939291906114e3565b60405180910390a150505050565b60006109c86
109c3846115ae565b611589565b9050828152602081018484840111156109e4576109e3
611710565b5b6109ef84828561163a565b509392505050565b600081359050610a06816
11730565b92915050565b600081359050610a1b81611747565b92915050565b60008260
1f830112610a3657610a3561170b565b5b8135610a468482602086016109b5565b91505
092915050565b60008060008060008060008060006101208a8c031215610a7257610a71
61171a565b5b6000610a808c828d016109f7565b9950506020610a918c828d016109f756
5b9850506040610aa28c828d016109f7565b9750506060610ab38c828d01610a0c565b96
50506080610ac48c828d01610a0c565b95505060a0610ad58c828d01610a0c565b945050
60c0610ae68c828d01610a0c565b93505060e0610af78c828d01610a0c565b9250506101
00610b098c828d01610a0c565b9150509295985092959850929598565b6000806000806
00080600080610100898b031215610b3a57610b3961171a565b5b6000610b488b828c01
6109f7565b9850506020610b598b828c016109f7565b9750506040610b6a8b828c01610a
0c565b9650506060610b7b8b828c01610a0c565b9550506080610b8c8b828c01610a0c56
5b94505060a0610b9d8b828c01610a0c565b93505060c0610bae8b828c01610a0c565b92
505060e0610bbf8b828c01610a0c565b9150509295985092959890939650565b6000806
0008060808587031215610be957610be861171a565b5b6000610bf7878288016109f7565
b9450506020610c0887828801610a0c565b9350506040610c1987828801610a0c565b92
50506060610c2a87828801610a0c565b91505092959194509250565b600080600080600
080600060e0888a031215610c5557610c5461171a565b5b6000610c638a828b016109f75
65b9750506020610c748a828b01610a0c565b9650506040610c858a828b01610a0c565b9
550506060610c968a828b01610a0c565b9450506080610ca78a828b01610a0c565b93505
060a0610cb88a828b01610a0c565b92505060c0610cc98a828b01610a0c565b915050929
59891949750929550565b6000806000806000806000806000806101408b8d031215610c
fc57610cfb61171a565b5b6000610d0a8d828e016109f7565b9a50506020610d1b8d828e
01610a0c565b9950506040610d2c8d828e01610a0c565b9850506060610d3d8d828e016

10a0c565b9750506080610d4e8d828e01610a0c565b96505060a0610d5f8d828e01610a0
c565b95505060c0610d708d828e01610a0c565b94505060e0610d818d828e01610a0c565
b935050610100610d938d828e01610a0c565b925050610120610da58d828e01610a0c56
5b9150509295989b9194979a5092959850565b600080600060608486031215610dd0576
10dcf61171a565b5b6000610dde86828701610a0c565b9350506020610def86828701610
a0c565b9250506040610e0086828701610a0c565b9150509250925092565b6000806000
8060008060c08789031215610e2757610e2661171a565b5b6000610e3589828a01610a0c
565b9650506020610e4689828a01610a0c565b9550506040610e5789828a01610a0c565b
9450506060610e6889828a01610a0c565b9350506080610e7989828a01610a0c565b9250
5060a0610e8a89828a01610a0c565b9150509295509295509295565b600080600080600
08060008060006101208a8c031215610eba57610eb961171a565b5b6000610ec88c828d0
1610a0c565b9950506020610ed98c828d01610a0c565b9850506040610eea8c828d01610
a0c565b9750506060610efb8c828d01610a0c565b9650506080610f0c8c828d01610a0c5
65b95505060a0610f1d8c828d01610a0c565b94505060c0610f2e8c828d01610a0c565b9
3505060e0610f3f8c828d01610a0c565b925050610100610f518c828d01610a0c565b915
0509295985092959850929598565b600080600080600060a08688031215610f7d57610f
7c61171a565b5b600086013567fffffffffffff811115610f9b57610f9a611715565b5b610
fa788828901610a21565b9550506020610fb8888289016109f7565b9450506040610fc98
8828901610a0c565b9350506060610fda88828901610a0c565b9250506080610feb88828
901610a0c565b9150509295509295909350565b60008060006060848603121561101157
61101061171a565b5b600084013567fffffffffffff81111561102f5761102e611715565b5
b61103b86828701610a21565b935050602061104c86828701610a0c565b925050604061
105d86828701610a0c565b9150509250925092565b60008060008060808587031215611
0815761108061171a565b5b600085013567fffffffffffff81111561109f5761109e611715
565b5b6110ab87828801610a21565b94505060206110bc87828801610a0c565b9350506
0406110cd87828801610a0c565b92505060606110de87828801610a0c565b9150509295
9194509250565b6110f3816115fb565b82525050565b6111028161160d565b825250505
65b6000611113826115df565b61111d81856115ea565b935061112d8185602086016116
49565b6111368161171f565b840191505092915050565b6000610120820190506111576
00083018c6110ea565b611164602083018b6110ea565b611171604083018a6110ea565b6
1117e60608301896110f9565b61118b60808301886110f9565b61119860a08301876110f
9565b6111a560c08301866110f9565b6111b260e08301856110f9565b6111c0610100830
1846110f9565b9a9950505050505050505050565b6000610100820190506111e4600083

018b6110ea565b6111f1602083018a6110ea565b6111fe60408301896110f9565b61120b
60608301886110f9565b61121860808301876110f9565b61122560a08301866110f9565b
61123260c08301856110f9565b61123f60e08301846110f9565b999850505050505050
50565b600060808201905061126160008301876110ea565b61126e60208301866110f95
65b61127b60408301856110f9565b61128860608301846110f9565b9594505050505056
5b600060e0820190506112a6600083018a6110ea565b6112b360208301896110f9565b61
12c060408301886110f9565b6112cd60608301876110f9565b6112da60808301866110f9
565b6112e760a08301856110f9565b6112f460c08301846110f9565b9897505050505050
5050565b600061014082019050611316600083018d6110ea565b611323602083018c611
0f9565b611330604083018b6110f9565b61133d606083018a6110f9565b61134a6080830
1896110f9565b61135760a08301886110f9565b61136460c08301876110f9565b6113716
0e08301866110f9565b61137f6101008301856110f9565b61138d6101208301846110f95
65b9b9a50505050505050505050565b60006060820190506113b160008301866110f9
565b6113be60208301856110f9565b6113cb60408301846110f9565b949350505050565b
600060c0820190506113e860008301896110f9565b6113f560208301886110f9565b6114
0260408301876110f9565b61140f60608301866110f9565b61141c60808301856110f956
5b61142960a08301846110f9565b979650505050505050565b600061012082019050611
44a600083018c6110f9565b611457602083018b6110f9565b611464604083018a6110f95
65b61147160608301896110f9565b61147e60808301886110f9565b61148b60a08301876
110f9565b61149860c08301866110f9565b6114a560e08301856110f9565b6114b361010
08301846110f9565b9a99505050505050505050565b60006020820190508181036000
8301526114db8184611108565b905092915050565b600060a0820190508181036000830
1526114fd8188611108565b905061150c60208301876110ea565b611519604083018661
10f9565b61152660608301856110f9565b61153360808301846110f9565b969550505050
5050565b600060808201905081810360008301526115578187611108565b90506115666
0208301866110f9565b61157360408301856110f9565b61158060608301846110f9565b9
5945050505050565b60006115936115a4565b905061159f828261167c565b919050565b
6000604051905090565b600067ffffffffffff8211156115c9576115c86116dc565b5b61
15d28261171f565b9050602081019050919050565b600081519050919050565b6000828
25260208201905092915050565b60006116068261161a565b9050919050565b60008160
010b9050919050565b600073ffffffffffff82169050919050565b82
818337600083830152505050565b60005b8381101561166757808201518184015260208
101905061164c565b83811115611676576000848401525b50505050565b611685826117

APÊNDICE E

Apêndice E – Matriz da revisão de literatura do trabalho

Referências	Referências até 5 anos	Referências mais de 5 anos	TOTAL	Percentual de Referências recentes
<i>Artigos Peer-Reviewed</i>	58	21	79	73,4%
Livros	-	1	1	-
Teses Doutorado	-	1	1	-
Outros	2	-	2	100,0%
TOTAL	60	23	83	72,3%

*Revisão bibliográfica atualizada em dezembro de 2021.