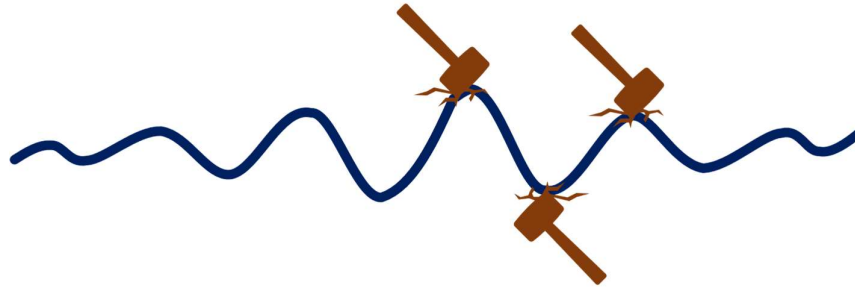




INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica



Métodos de *Machine Learning* para a otimização de cadeias de abastecimento

Tiago António da Silva Rodrigues
(Licenciado em Engenharia Química)

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador:

Doutor Pedro Domingos Belo Carmona Marques

Júri:

Presidente:

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Vogais:

Doutora Filipa Alexandra Moreira Ferrada

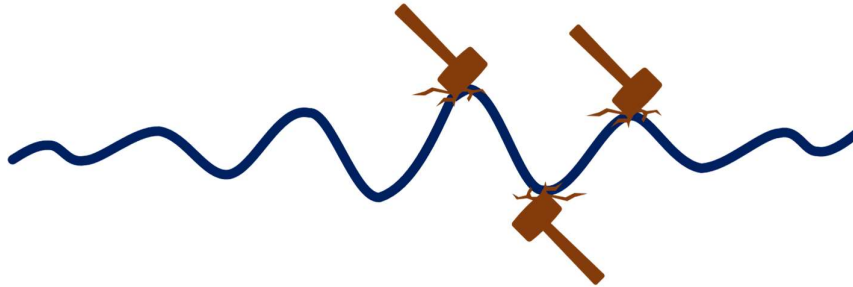
Doutor Pedro Domingos Belo Carmona Marques

Setembro de 2022



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica



Métodos de *Machine Learning* para a otimização de cadeias de abastecimento

Tiago António da Silva Rodrigues
(Licenciado em Engenharia Química)

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador:

Doutor Pedro Domingos Belo Carmona Marques

Júri:

Presidente:

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Vogais:

Doutora Filipa Alexandra Moreira Ferrada

Doutor Pedro Domingos Belo Carmona Marques

Setembro de 2022

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, e aos amigos, que sempre me apoiaram incondicionalmente em todas as etapas da minha vida.

*“As grandes coisas não são feitas por impulso,
mas através de uma série de pequenas coisas acumuladas.”*

Vincent Van Gogh

Agradecimentos

A presente dissertação resulta de um período repleto de trabalho, esforço e dedicação, contudo muito gratificante, onde cresci imenso a nível pessoal e profissional. Devo, no entanto, reconhecer que este percurso apenas foi possível graças a apoio que tive ao longo dos anos.

Assim, começo por agradecer ao Professor Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu, pelo apoio durante o mestrado, pelas lições passadas e pela inspiração.

Quero também deixar um agradecimento especial ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Domingos Belo Carmona Marques pelo profissionalismo, apoio, disponibilidade, dedicação e, naturalmente, orientação, fundamentais para o sucesso deste trabalho.

No entanto, a conclusão desta etapa resulta de um percurso iniciado há muitos anos, e ao longo deste foram enumeras as pessoas que me apoiaram e que contribuíram para a chegada a bom porto. Não sendo possível usar esta plataforma para agradecer individualmente a cada uma dessas pessoas, quero ainda assim agradecer a todos os meus professores, pelo papel fundamental na realização pessoal e profissional que alcancei e que me foi colocada no horizonte graças a todos vós.

Deixo também um sentido agradecimento à minha equipa de trabalho, por compreenderem o cansaço de certos dias e sempre por sempre me terem incentivado a avançar, mesmo quando a alternativa mais fácil seria outra.

Pese embora a presente dissertação resulte de um longo percurso, por vezes solitário, que exigiu grande esforço e dedicação individual, não posso deixar de reconhecer que apenas o apoio que me foi dado ao longo dos anos tornou possível a sua conclusão.

Por fim, aos mais importantes, a minha família, quero deixar o meu sincero agradecimento pelo apoio desinteressado, altruísta e incondicional. Obrigado, Mãe, Avó, Tia Marta, Tia Miraldina, e à restante família, a quem devo o orgulho chegar a engenheiro.

Esta mensagem não ficaria completa sem o meu obrigado ao outro lado da família, aquele que o tempo molda ao seu sabor, os amigos que sempre estiveram presentes nas alturas certas.

Muito obrigado a todos!

Nota:

Esta dissertação foi escrita em português, de acordo com o acordo ortográfico de 1990, no entanto, serão utilizados vários estrangeirismos que, apesar de poderem existir termos equivalentes em português, dado o contexto global das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), é prática comum da indústria o uso dos termos em inglês. Desta forma, ao longo do documento, será favorecida a língua portuguesa, com exceção dos termos técnicos, onde será aplicado o idioma que melhor contextualizar o conceito.

Resumo

As últimas décadas alteraram radicalmente a economia, as empresas passaram da venda direta para a venda online, os fornecedores locais passaram a fornecedores globais e à medida que os produtos foram ficando mais complexos as cadeias de abastecimento acompanharam o seu ritmo. Estas alterações trouxeram desafios à gestão, como gerir o efeito chicote em cadeias de abastecimento complexas, enquanto lutam com a necessidade de redução de custos.

Tendo em conta o contexto anterior, a presente dissertação tem como objetivo explorar as causas do efeito chicote, e avaliar as potencialidades que as atuais técnicas de *Machine Learning* e de armazenamento de dados em *Blockchain* para mitigar o risco de quebra de inventário.

Para alcançar os objetivos propostos, foi estudado o estado da arte dos temas referidos, e com base no potencial identificado foi sugerido um modelo de cadeia de abastecimento assente da partilha de informação.

De forma a avaliar o potencial do modelo proposto foram executadas várias análises estratégicas, e desenvolvido um simulador de forma a estudar como a alteração do fluxo de informação poderia beneficiar a cadeia de abastecimento.

Palavras-chave:

Efeito chicote, ciência de dados, Machine Learning, Blockchain, cadeias de abastecimento

Abstract

The last few decades have radically changed the economy, companies have moved from selling directly to online selling, from local suppliers to global suppliers, and as products have become more complex, supply chains have followed suit.

These changes have brought challenges to management, such as managing the bullwhip effect in complex supply chains, while struggling with the need to reduce costs. Considering the previous context, the present work aims to explore the causes of the bullwhip effect, and to evaluate the potential that current machine learning and data storage techniques in blockchain have to mitigate the risk of inventory breakdown.

To achieve the proposed objectives, a review of the mentioned topics was considered, and based on the identified potential, a supply chain model based on information sharing was suggested. To assess the potential of the proposed model, several strategic analyzes were carried out, and a simulator was developed to study how the change in the flow of information could benefit the supply chain.

Keywords

Bullwhip effect, Data Science, Machine Learning, Blockchain, Supply Chains

Índice

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Novos tempos, problemas antigos | 1 |
| 1.2 | A Economia global..... | 2 |
| 1.3 | O papel das organizações na sociedade | 3 |
| 1.4 | Cadeias de abastecimento | 4 |
| 1.4.1 | Os desafios das cadeias de abastecimento modernas..... | 5 |
| 1.4.2 | Efeito chicote | 6 |
| 1.4.3 | Impacto das decisões erradas | 8 |
| 1.5 | Motivação e contexto | 8 |
| 1.6 | Metodologia e estrutura da dissertação | 9 |
| 2 | Estado da arte..... | 10 |
| 2.1 | O efeito chicote na entrega do produto | 10 |
| 2.1.1 | Causas tradicionais do efeito chicote | 11 |
| 2.1.2 | Estado atual do efeito chicote | 12 |
| 2.1.3 | Resposta contemporânea ao efeito chicote..... | 13 |
| 2.1.4 | A consciência ambiental e o efeito chicote – Efeito chicote verde | 16 |
| 2.2 | Transformação digital e a viabilidade económica | 17 |
| 2.2.1 | O que é a transformação digital? | 17 |
| 2.2.2 | Como gerir uma transformação digital? | 17 |
| 2.2.3 | Gestão da Transformação digital – COBIT 5 | 18 |
| 2.2.4 | Novos Riscos da transformação digital | 19 |
| 2.2.5 | Maus exemplos de transformação digital e o que aprender com eles..... | 20 |
| 2.2.6 | Da ciência de dados ao Machine Learning | 21 |
| 2.2.7 | Metodologia da Ciência de dados | 23 |
| 2.2.8 | Aplicação de Machine Learning | 25 |
| 2.3 | <i>Blockchain</i> na resposta às expectativas | 28 |
| 2.3.1 | <i>Blockchain</i> vs criptomoedas | 29 |
| 2.3.2 | Funcionamento da tecnologia <i>Blockchain</i> | 30 |
| 2.3.3 | Análise de risco e pontos de falha | 35 |
| 2.3.4 | Principais ataques a redes <i>Blockchain</i> | 36 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.4 | Partilha pública de informação | 37 |
| 3 | Modelo conceptual proposto | 39 |
| 3.1 | Objetivos do modelo | 39 |
| 3.2 | Apresentação do modelo | 39 |
| 3.2.1 | Detalhes do contrato | 40 |
| 3.2.2 | Arquitetura dos dados | 41 |
| 3.3 | Análise estratégica | 43 |
| 3.3.1 | Análise PESTAL | 43 |
| 3.3.2 | Curva do ciclo de vida da adoção do <i>Blockchain</i> | 53 |
| 3.3.3 | Modelo Unificado de Aceitação e Uso da Tecnologia – UTAUT | 55 |
| 3.3.4 | Análise SWOT | 57 |
| 3.3.5 | Vantagem competitiva do modelo | 61 |
| 4 | Caso prático | 62 |
| 4.1 | Premissas | 62 |
| 4.1.1 | Escolhas das tecnologias | 63 |
| 4.2 | Arquitetura | 63 |
| 4.3 | Estrutura do código | 66 |
| 4.4 | Configuração do simulador | 66 |
| 4.5 | Construção da cadeira de abastecimento a partir da configuração | 68 |
| 4.5.1 | Execução do simulador | 69 |
| 4.6 | Caso de estudo 1 | 71 |
| 4.7 | Caso de estudo 2 | 72 |
| 4.8 | Dados de entrada | 73 |
| 4.9 | Configurações testadas | 74 |
| 4.10 | Resultados | 74 |
| 5 | Conclusões | 76 |
| 5.1 | Limitações e sugestões de investigações futuras | 77 |
| 6 | Bibliografia | 78 |
| 7 | Anexos | 86 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Evolução do IDH médio em função do grau de desenvolvimento | 3 |
| Figura 2 – Exemplo ilustrativo de uma cadeia de valor | 5 |
| Figura 3 – Representação de uma cadeia de abastecimento de cinco elementos, cada..... | 7 |
| Figura 4 –Esboço de um modelo de efeito chicote típico | 12 |
| Figura 5 – Metodologia fundamental para a ciência de dados – IBM | 23 |
| Figura 6 - Esquema da aprendizagem supervisionada, comparada com a não supervisionada | 26 |
| Figura 7 – Representação da composição e funcionamento das redes neurais..... | 27 |
| Figura 8 – Exemplo de interação económica numa Blockchain | 29 |
| Figura 9 – Exemplo de aplicação, real, da função SHA-256. | 31 |
| Figura 10 – Processo de assinatura digital de segurança de dados baseado em RSA. | 32 |
| Figura 11- Processo de assinatura e validação de informação | 33 |
| Figura 12 - Exemplos de possíveis arquiteturas de comunicação com Blockchain | 36 |
| Figura 13 – Dilema do prisioneiro aplicado a duas organizações..... | 38 |
| Figura 14 – Diagrama de atividades principais do modelo | 39 |
| Figura 15 – Diagrama de classes proposto..... | 41 |
| Figura 16 – Diagrama de atividades da seleção do melhor fornecedor..... | 42 |
| Figura 17 – Relatório hype cycle para da Gartner em agosto de 2022 | 47 |
| Figura 18 – Evolução dos endereços únicos da e localização dos nós da rede Ethereum..... | 49 |
| Figura 19 - Percentagem da população com acesso à internet por nível de desenvolvimento. | 51 |
| Figura 20 – Curva de adoção, com abismo de Geoffrey Moore. | 53 |
| Figura 21 – Modelo Unificado de Aceitação e Uso da Tecnologia | 55 |
| Figura 22 - Vantagem competitiva da blockchain | 61 |
| Figura 23 – Diagrama de classes simplificado, Diagrama completo em anexo | 64 |
| Figura 24 - Estrutura do simulador | 66 |
| Figura 25 – Exemplo de construção e estrutura da cadeia de abastecimento | 68 |
| Figura 26 – Ilustrativa do caso 1 | 71 |
| Figura 27 – Ilustração do caso 2 | 72 |

Índice de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Ilações a tirar da combinação das variáveis da análise SWOT)..... | 59 |
| Tabela 2 - Comparação das transformações testadas | 73 |
| Tabela 3 - Resultados dos testes | 74 |
| Tabela 4 - Coeficientes de variação dos testes | 75 |
| Tabela 5 - Comparação da variação entre modelos | 75 |

Lista de Abreviaturas, Acrónimos e de Siglas

ARIMA – *Auto-Regressive Integrated Moving Average*

CD – Ciência de dados

COBIT – Controle de Objetivos para Informação e Tecnologias Relacionadas

DP – Deep learning

DS – Data science

EBP – *European Blockchain Partnership*

EBSI – *European Blockchain Services Infrastructure*

FMI – Fundo Monetário Internacional

IA – Inteligência artificial

ISO – *International Organization for Standardization*

ML – Machine Learning

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PESTAL – Política, Económica, Social e Tecnológica

PoA – Proof of authority

PoB – Proof of Burn

PoS – Proof of stake

PoW – Proof of Work

RGPD – Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados

SHA – *Secure hash algorithm*

SWOT – *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*

TGS – Teoria geral dos sistemas

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

UE – União Europeia

UNICEF - *United Nations International Children's Emergency Fund*

UTAUT – *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*

1 Introdução

1.1 Novos tempos, problemas antigos

Desde os primórdios da história, a logística representa uma importante dimensão no desenvolvimento da sociedade. Este conceito, muito associado ao comércio, é, na verdade, transversal a todas as atividades que requeiram organização e gestão de meios e de materiais para a realização de qualquer atividade.

Um exemplo da valorização da logística, na antiguidade, vem do século IV a.C., quando o general chinês Sun Tzu documentou como os líderes devem controlar cuidadosamente os stocks de alimentos e armamento, de forma a conquistar vantagem estratégica num conflito (Tzu, 20009).

Ao estudar a história clássica europeia, encontramos sólidos indícios da importância da logística na economia, como é o caso do império romano que teve possivelmente dos melhores engenheiros da história clássica ocidental. A sua expansão, no ocidente, permitiu recolher conhecimento das civilizações locais e polir os conceitos de forma a criar as mais complexas obras de engenharia dos primeiros milénios da história. Vários foram os fatores para a consagração do império, no entanto, é seguro afirmar que um dos pilares basilares para a sua consagração foi a eficiência dos seus processos organizacionais e a logística avançada (Cuomo, 2011).

Olhando para a estrutura dos seus exércitos, os oficiais militares, "*logistikas*", eram responsáveis por garantir o abastecimento e a alocação de recursos, para que os soldados pudessem avançar com eficiência. O modelo romano foi validado pela sua expansão no ocidente, atingindo o seu auge por volta do século segundo, quando a sua área de influência se estendeu de Portugal até ao Golfo Pérsico e da atual Inglaterra até Berenice no Egito. As evidências da atenção dada à eficiência podem-se observar na construção de estradas de elevada qualidade para rápida movimentação e baixa manutenção, na construção de aquedutos e de outros sistemas de canalização para aproveitamento das águas, não só para consumo como também para conversão em trabalho mecânico, e até na organização dos seus exércitos com escalas hierárquicas bem definidas e padronizadas (Cuomo, 2011).

A estratégia militar contemporânea tem bastantes mais camadas de complexidade, comparativamente, à época romana, mas o problema da eficiência da movimentação de militares, o problema da logística de levar recursos para as frentes de combate e o problema de otimização dos recursos, de forma a evitar desperdícios de material, tempo ou dinheiro mantêm-se, essencialmente, os mesmos. De acordo com Pawelczyk, a complexidade logística das operações militares está nos níveis mais elevados de sempre (Pawelczyk, 2018). A autora afirma que mesmo com uma estratégia militar perfeita, se esta não estiver acompanhada por um suporte logístico capaz, terminará, provavelmente, em fracasso. Em paralelo, salienta também a importância da competência dos operadores e a capacidade de ser flexível para absorver alterações imprevistas ao plano inicial. Esta visão é partilhada Gasowska que desenvolve o

conceito no setor civil, acrescentando que a cooperação entre diferentes organizações é mais uma dimensão a considerar para atingir as metas económicas, ecológicas e sociais (Gasowska, 2020).

O objetivo desta exagerada comparação é despertar a atenção para o facto de que ter mais tecnologia não resolve um problema. As novas tecnologias dão-nos novas ferramentas, com maior agilidade e maior capacidade, no entanto, a gestão dos problemas e da procura da solução mais adequada continua a ser o pilar essencial do sucesso de qualquer organização.

Uma visão prática desta questão pode ser observada nas campanhas de angariação de alimentos, onde mais importante que arranjar muitas doações é ter uma cadeia logística pensada e bem estruturada para que os alimentos certos cheguem a quem deles precisa, na altura adequada. Caso contrário, serão criados problemas sem resolver o inicial.

Esta visão da importância da boa gestão é cada vez mais importante, não só para a sociedade, mas também para o planeta, pois, as comunidades locais de outrora deram lugar à aldeia global, o que a par com muitas vantagens, também acarreta novos desafios.

1.2 A Economia global

A partir de meados do século XX, as organizações desenvolveram uma ampla gama de cadeias de abastecimento globais, impulsionadas por novas tecnologias, que favoreceram economias de escala, tomando partido de meios de transporte com níveis de eficiência e fiabilidade sem precedentes. Com a chegada no século XXI, a internet tem desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento económico mundial. Além do crescimento natural da indústria de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), as indústrias tradicionais também beneficiaram com as facilidades de comunicação, automação e computação que resultam em aumento de produtividade, traduzidos na redução de custos.

Os dados do programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento revelam que, apesar de alguns casos *outliers*, normalmente associados a instabilidades ou a conflitos políticos, o índice de desenvolvimento mundial tem vindo a crescer (United Nations Development Programme, 2021). As economias emergentes tendem a ganhar poder de compra e maior relevância nos mercados internacionais. Esta tendência será traduzida numa economia global mais resiliente, mas também em cadeias de abastecimento, tendencialmente, mais dispersas e complexas.

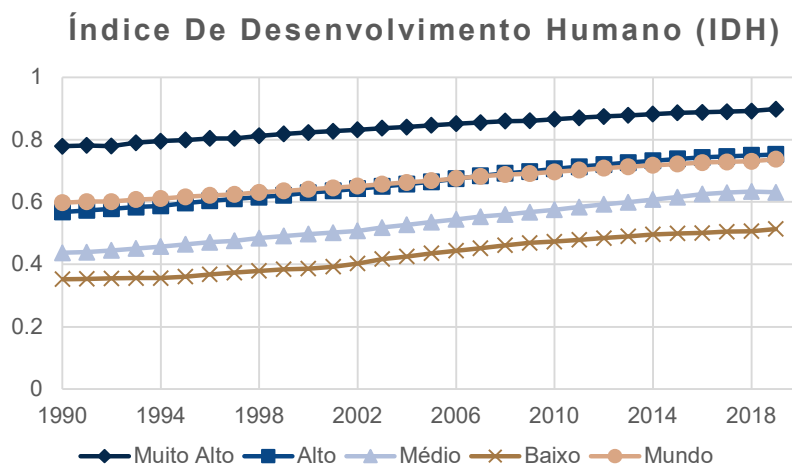


Figura 1 – Evolução do IDH médio em função do grau de desenvolvimento

Fonte: United Nations Development Programme, 2021

De acordo com a pirâmide das necessidades de Maslow¹, é expectável que, à medida que a sociedade se continua a desenvolver, tenda a adquirir novas preocupações e prioridades; esta hipótese corrobora o crescimento das preocupações ambientais. É cada vez mais notório o impacto das questões de sustentabilidade ambiental, tal como de ética animal na economia (X. Chen et al., 2019). Surge então um dilema para o consumidor: se por um lado quer alimentos diversos, saudáveis e a custos acessíveis, por outro, a produção local nem sempre consegue corresponder às expectativas. No entanto, a importação destes bens de consumo, de localizações remotas, pode ter uma pegada ambiental que o consumidor não está disposto a aceitar. Esta dualidade de necessidades exige mudanças de paradigma para as cadeias de distribuição; se por um lado os custos forçam a deslocação da produção para longe do consumidor, por outro, a eficiência ambiental deve ser garantida.

1.3 O papel das organizações na sociedade

Cada organização tem um propósito na economia, normalmente, apresentado como a sua missão, o que consiste no que a organização ambiciona oferecer à sociedade. Para alcançar esta meta, a organização utiliza os recursos de que dispõe para produzir o maior valor possível para a sociedade, por exemplo: uma empresa de refrigerantes utiliza uma mistura de ingredientes para fabricar o seu produto, todavia, bem além dos ingredientes, o valor acrescentado vem da perfeita mistura entre os mesmos.

A estas variáveis ou dimensão de análise, associam-se outras como o momento ideal e a quantidade da oferta. Considere-se uma empresa de gelados, esta deve afinar a sua produção

¹ Abraham Maslow teorizou que a motivação da humanidade enquadra-se em uma de cinco categorias: Fisiológicas, Segurança, Afeto, Estima e Autorrealização, sendo que para avançar para a seguinte a antecedente deve estar satisfeita. De acordo com a teoria, evoluímos da necessidade básica da alimentação até realização pessoal onde questionamos a moral e a ética. (Maslow, 1943)

para que, no pico do verão, a sua distribuição seja máxima, caso contrário, irá perder clientes para a concorrência, por existir um desfasamento entre a altura ideal da venda e a disponibilidade do produto. Contudo, se a produção exceder a procura, terá desperdiçado recursos que poderiam ter sido mais bem alocados, de forma a trazer maior retorno à empresa e, em última análise, à sociedade.

1.4 Cadeias de abastecimento

Para assegurar um maior nível de qualidade, as organizações, naturalmente, focam os seus recursos num conjunto restrito de produtos ou de serviços e criam as suas cadeias de abastecimento, cedendo a outras entidades a produção da sua matéria-prima. Deste modo, a especialização num determinado elo desta cadeia, torna a sua produção mais eficiente, por conseguinte, mais económica, resultando num balanço final mais lucrativo para cada um dos elos da cadeia.

Do ponto de vista económico da teoria dos jogos, as cadeias de abastecimento podem ser representadas como um jogo de cooperação de soma diferente de zero, na medida em que a colaboração dos diferentes atores beneficia todos, no entanto, por contraste, a não colaboração de um deles levará sempre a um desperdício que limita os ganhos globais possíveis, mais uma vez comprovando a importância da colaboração. Note-se que a não colaboração de um elemento não significa que o próprio sai, necessariamente, prejudicado. Os ganhos individuais até poderão, ocasionalmente, ser superiores, porém, quando analisamos o sistema global, o ganho fica aquém do limite máximo.

O conceito de cadeias de abastecimento estende-se além dos produtos e das empresas. Pensemos no exemplo de uma escola, o seu "produto", na verdade, é um serviço prestado, no entanto, é essencial à qualidade deste serviço ter fornecimento de água, de alimentos, de serviços de limpeza e de material escolar, entre outros.

Podemos, então, definir uma cadeia de abastecimento como o conjunto de todas as entidades que de alguma forma interagem com um produto ao longo da sua viagem até ao cliente final.

A Figura 1 ilustra, de forma simplificada, os intervenientes de uma cadeia de abastecimento de papel. O setor primário é responsável por cultivar e recolher a madeira, que será transportada para a fábrica de papel que, por sua vez, irá transformar madeira em papel branco. Em seguida, o papel segue para empresas do setor terciário que, finalmente, terá o contacto com o cliente final.

Repare-se que as atividades estão separadas em 2 partes, as atividades geradoras de valor, indicadas pela atividade principal, e as atividades de suporte, que sendo indispensáveis para as organizações não geram valor, como é o caso do armazenamento e do transporte.

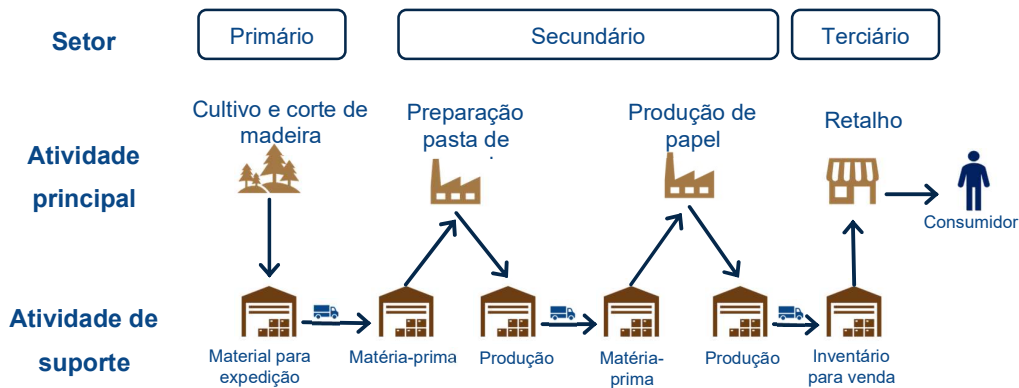


Figura 2 – Exemplo ilustrativo de uma cadeia de valor

Fonte: Elaboração própria

Este exemplo simples visa também introduzir a importância da gestão de inventários. Apesar de não gerar valor, o armazenamento tem o potencial de o remover. No caso de uma falha de inventário, num destes elos, o impacto propaga-se pela cadeia.

1.4.1 Os desafios das cadeias de abastecimento modernas

O ano 2020 revelou-se um dos maiores testes de esforço da economia mundial. A pandemia da COVID-19 abalou, de uma só vez, várias dimensões da economia, desde meios de produção à disponibilidade de matérias-primas. Várias fábricas suspenderam a sua produção e cada país procurou aplicar as medidas de contenção que melhor protegessem a população, mas, em contrapartida, atrasou os processos de transações de mercadoria, o que se refletiu no aumento dos tempos de entrega, nas quebras de inventário e, em alguns casos, na indisponibilidade total dos produtos (Soltas & Helper, 2021).

Em maio de 2021, surge outro teste, este, à resiliência da economia mundial, com o bloqueio por seis dias do canal do Suez pelo navio *Ever Given*. O canal no Suez é uma das principais vias de comunicação entre os centros de produção de baixo custo asiáticos com os principais mercados de consumo, o mercado europeu e o americano. Calcula-se que este bloqueio acidental resultou em 54 mil milhões de dólares de perdas comerciais e acrescentou uma forte pressão ao desenvolvimento de métodos de prevenção e contenção de futuras ocorrências semelhantes. (Lee & Wong, 2021)

O crescente peso do impacto ambiental nas cadeias de abastecimento deve ser tido sempre em conta nas decisões estratégicas e, nos últimos anos, têm surgido novos desafios que obrigam os gestores a redefinir as visões e a reinventar os processos. Alguns dos mais recentes desafios são, por exemplo, o da proibição da utilização de veículos pesados ou veículos a gásóleo em certas zonas citadinas, a imposição da organização marítima internacional para reduzir o enxofre no *fuel oil*, utilizado como combustível dos navios, as restrições ao uso de plásticos descartáveis

ou a proibição de determinadas matérias-primas por preocupações ambientais e saúde pública, a proibição de testes em animais e as restrições ao comércio com países ou empresas que sejam suspeitos de violação do direito internacional dos Direitos Humanos (IMO, 2021).

A par com os exemplos anteriores, os gestores continuam a ter de resolver os problemas tradicionais, como greves de trabalhadores, acidentes com transportadoras, acidentes fabris com perda de horas de produção, catástrofes naturais, escassez de matéria-prima mineral, entre inúmeros outros. Estes eventos podem facilmente levar a intervalos de produção que, em casos como a indústria ligeira o impacto é pouco significativo, no entanto, quando se trata de indústrias pesadas, a paragem de produção e posterior arranque pode significar vários dias sem produzir.

Além dos custos variáveis, a quebra de produção tem outros custos que, por norma, são mais difíceis de mitigar, como é o caso dos produtos não vendidos, clientes perdidos para a concorrência e danos à reputação da organização (Sarkar et al., 2019).

Para prevenir os custos de ficar sem matéria-prima, as organizações recorrem ao armazenamento de matéria-prima por excesso, contudo, este armazenamento terá custos associados à ocupação do espaço, conservação e deslocação da matéria-prima, seguros e, por vezes, a outros fatores económicos, como a variação do preço da matéria-prima e do produto final no mercado (Muller, 2011).

Por fim, é importante ter em conta que a larga maioria das cadeias de abastecimento consiste em empresas, como tal, existe a preocupação de garantir o retorno, de acordo com as expectativas dos acionistas. Todas as questões já colocadas sobre as organizações, estão, obviamente, equacionadas em contrapeso com a necessidade de garantir a viabilidade económica da empresa.

Recapitulando, de acordo com Gasowska, apesar do largo espectro de origens dos desafios, se estes forem analisados com um certo grau de abstração, podem ser agrupados em três grandes grupos de necessidades (Gasowska, 2020).

- **Entrega, ao cliente, no período desejado;**
- **Expectativas ambientais e éticas, do cliente;**
- **Viabilidade económica, da organização.**

1.4.2 Efeito chicote

A entrega de um produto ao cliente, no período esperado, possui três fatores dos quais depende fortemente, sobretudo, o tempo de entrega dos fornecedores, o tempo de processamento e a previsão da procura, o que irá afetar as encomendas aos fornecedores. Em função destas variáveis, a organização irá garantir os seus stocks de matéria-prima e de produto final, e, enquanto o tempo de processamento pode ser controlado internamente, as restantes variáveis estão fortemente dependentes de fatores exógenos, o que resulta numa elevada incerteza.

Ao longo de uma cadeia de abastecimento, cada elemento esforça-se para prever qual a procura que terá para os seus produtos nos próximos intervalos de produção, porém, à medida que a cadeia cresce, o número de variáveis a considerar aumenta, tornando muito mais difícil a previsão da procura.

Considere-se o exemplo de uma pequena cadeia de abastecimento de quatro elementos, em que cada um demora em média, 5 dias a entregar a mercadoria, após a encomenda, e onde cada um tem uma variância de meio-dia no seu processo. Apesar de os elementos mais próximos não serem significativamente afetados pela variação do primeiro, o efeito comutativo das variâncias processuais de cada interveniente propaga uma onda crescente ao longo da cadeia.

A Figura 3 representa a estrutura sugerida no exemplo anterior, com os resultados de uma simulação de Monte Carlo com dez mil iterações, à direita. No eixo horizontal estão representados os tempos que uma encomenda demora a ser recebida por um cliente final, sendo cada um dos 4 atores representado por uma cor diferente. Repare-se como os tempos de entrega vão variando, aumentando a amplitude por cada elemento da cadeia de abastecimento.

A este aumento da variação ao longo de uma cadeia de abastecimento chama-se efeito chicote e o mesmo consiste num dos principais responsáveis por quebras de inventário. À medida que as cadeias de abastecimento vão crescendo em comprimento e complexidade, este efeito torna-se cada vez mais significativo, não restando alternativa senão aumentar os seus stocks de segurança para atenuar o efeito.

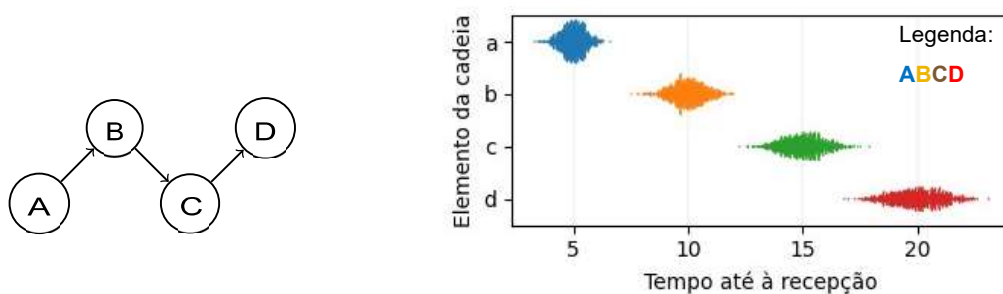


Figura 3 – Representação de uma cadeia de abastecimento de cinco elementos, cada elemento segue uma distribuição com parâmetros: μ "5 e σ "0,5. À esquerda está representada a estrutura da cadeia e à direita o resultado da simulação

Fonte: Elaboração própria

1.4.3 Impacto das decisões erradas

Numa análise teórica é simples apontar qual a melhor solução, todavia, nem todas as decisões são facilmente suportadas com dados exatos. Antes de terminar esta introdução e de avançar para o estado da arte e desenvolver como os problemas podem ser abordados com as ferramentas disponíveis, é importante destacar o facto de que a qualquer estratégia deve ser subjacente uma análise de risco que contemple as variáveis exógenas que poderão interferir com os objetivos organizacionais.

A capacidade de tomar decisões é uma característica essencial ao gestor que tem inerente vários fatores como a aptidão para relacionar diferentes dados e a coragem para avançar com uma estratégia, mesmo quando não existe evidência explícita. No entanto, é importante que os gestores também tenham a coragem para acionar o travão, assumindo que as decisões anteriores não tiverem o sucesso pretendido e que devem mudar paradigmas (Zaleznik, 2004).

Um elemento que não deve ser menosprezado é o impacto de um *feedback loop* negativo propagado ao longo do tempo. Considere-se o exemplo de empresas como a Nokia que passou de líder de segmento a uma grande reestruturação e alteração radical de estrutura, forçada, após muitos anos de recessão. Mesmo quando as empresas estão no círculo restrito das melhores e mais poderosas do mundo correm riscos, se não tiverem uma gestão atenta à evolução da economia, do mercado e da tecnologia (Laamanen, Lamberg, & Vaara, 2016).

1.5 Motivação e contexto

Considerando a importância da colaboração entre organizações e o atual desenvolvimento da tecnologia que permite comunicação global e instantânea, simplifica-se a criação de redes universais de colaboração e abrem-se as portas a novos métodos de gestão de abastecimento.

Com os recursos atualmente oferecidos pelo mercado é não só possível, mas também potencialmente viável, conciliar as cadeias de abastecimento atuais, assentes em décadas de experiência, com as tecnologias emergentes focadas na otimização e na comunicação.

A quarta revolução industrial apresenta um novo paradigma para a gestão de organizações, muito ligadas à produção e exploração de dados, com novas áreas tecnológicas que vão desde a internet das coisas até à *Big Data*, conceito muito ligado a técnicas de automação como Machine Learning.

Os últimos anos amadureceram a tecnologia *Blockchain*, que já conta com diversos casos de sucesso no rastreamento de transações que, por conta das características inerentes, apresentam altos níveis de segurança e de confiabilidade associados a custos com a viabilidade de aplicativos em larga escala. Outra área que cresceu, significativamente, nos últimos anos, foi a capacidade de aprendizagem dos computadores, o uso de algoritmos cada vez mais

sofisticados e associados a computadores mais potentes, o que permite obter resultados para problemas complexos com uma fração dos recursos.

O objetivo desta dissertação é analisar o potencial das novas tecnologias na otimização das cadeiras de abastecimento, tanto a nível operacional, mas também como o aumento da transparência pode beneficiar a organização.

Para alcançar estes objetivos foram analisados os seguintes temas:

- Efeito chicote – Quais as suas causas e tendências de abordagem ao problema.
- *Machine Learning* – Em que consiste e como pode ser utilizado, atualmente, para resolver problemas contemporâneos das organizações.
- Blockchain – Em que consiste e como pode ser utilizado, atualmente, para resolver problemas contemporâneos das organizações.

1.6 Metodologia e estrutura da dissertação

Na presente seção, apresentar-se-á a metodologia e a estrutura utilizadas para o desenvolvimento do presente trabalho.

1. Contextualização do efeito chicote e identificação das principais causas;
2. Contextualização do *Machine Learning* no processo de transformação tecnológica e identificação das suas potencialidades;
3. Contextualização da tecnologia *Blockchain* e identificação das suas potencialidades;
4. Apresentação do modelo de integração das tecnologias;
5. Análise de viabilidade do modelo;
6. Desenvolvimento do caso de estudo;
7. Conclusões.

2 Estado da arte

Tendo em conta as três linhas orientadoras dos desafios das cadeias de abastecimento, referidas no ponto 1.4.1 desta dissertação, serão agora aprofundados os três temas com vista a responder a cada um dos desafios. Nomeadamente:

- Sobre o desafio: **“Entrega no período desejado”**, será estudado o efeito chicote e técnicas de resposta ao mesmo;
- Sobre o desafio: **“Viabilidade económica”** serão analisadas soluções de transformação digital que ajudem à otimização de processos e à tomada de decisão, sendo feita ênfase em técnicas de ciência de dados e *Machine Learning*;
- Sobre o desafio: **“Expectativas ambientais e éticas do cliente”**, será estudado como o *Blockchain* pode ajudar a dar resposta a estas questões.

2.1 O efeito chicote na entrega do produto

Na década de 40, do século XX, o biólogo Ludwig von Bertalanffy apresentou à comunidade científica a sua Teoria Geral dos Sistemas (TGS), um trabalho cujo valor ascende muito além das ciências da natureza e é citado por *Assche et al*, como uma das tentativas mais ambiciosas do século vigésimo de desenvolver a interdisciplinaridade científica (Van Assche, Valentinov, & Versc, 2019). A TGS é abstrata o suficiente para permitir a sua evolução em diferentes áreas, criando, assim, os alicerces para o estudo aprofundado de sistemas.

Anos mais tarde, nas décadas de 50 e 60, Forrester desenvolve o trabalho de Bertalanffy e introduz o conceito de dinâmica de sistemas, evoluindo os conceitos de sistemas interativos e *feedback loops*, conceitos basilares da engenharia atual (Forrester, 1968).

Nos seus estudos, Forrester aponta o efeito chicote como uma consequência da dinâmica industrial ou dos comportamentos variáveis no tempo das organizações industriais. Por outras palavras, o autor indicia que as políticas organizacionais podem dar origem a comportamentos característicos e indesejáveis.

Em 1997, Lee estuda os fluxos de informação, ao longo de uma cadeia de abastecimento, e afirma que as informações transferidas na forma de 'pedidos' tendem a ser distorcidas e podem orientar, erroneamente, os membros a montante nas duas decisões de gestão de stock. De acordo com o artigo, a variância dos pedidos é maior que das vendas e a distorção tende a aumentar em contra corrente (Lee, Whang, & Padmanabhan, 1997).

2.1.1 Causas tradicionais do efeito chicote

Lee identifica quatro principais causas para o efeito chicote, nomeadamente:

a) Previsão da procura

As distorções das informações da procura surgem quando o retalhista executa pedidos com base na sua previsão de procura atualizada e, como resultado, o fabricante perde de vista a verdadeira procura do mercado.

Este efeito de distorção da informação é amplificado à medida que o número de intermediários no canal aumenta.

b) Encomendas em lotes

As encomendas em lote são consequência de dois fatores. O primeiro é o processo de revisão periódica, uma técnica de controlo de stocks em que as quantidades de produtos, em inventário, são analisadas com uma frequência regular e com base nessa informação, assim serão feitas as encomendas de reposição de inventário.

O segundo fator é o custo de processamento de uma transação de compra. Este elemento tem em consideração aspetos como descontos feitos pelo fabricante para grandes quantidades, o tempo despendido com aspetos burocráticos é o mesmo independentemente da quantidade, logo pode ser vantajoso fazer uma encomenda grande em vez de várias pequenas. O transporte também tem bastante relevância nas transações em lotes. Como nem sempre é possível utilizar 100% do espaço destinado ao transporte de mercadorias (este aspeto é válido tanto ao nível de contentores marítimos, camiões de distribuição logística ou carrinhas de distribuição porta-a-porta), uma encomenda em lote torna mais viável a rentabilização do espaço e essa poupança pode ser transferida ao comprador.

c) Flutuação do preço

O preço é um dos componentes mais complexos da área em estudo, não só por existirem vários fatores intrínsecos que contribuem para a sua flutuação, mas também porque o próprio preço é das variáveis mais relevantes para oscilações na cadeia de abastecimento.

Entre as várias origens das oscilações de preço encontram-se a relação preço/procura, elasticidade, gestão de custos, objetivos de vendas e gestão de posicionamento no mercado.

d) Jogos de racionamento e escassez

Considere-se, neste caso, um produto cuja procura, potencialmente, excede a oferta devido à limitação da capacidade de produção ou incerteza da produção. Numa situação de escassez, o fabricante racionaria o fornecimento do produto para satisfazer os pedidos dos retalhistas. Para tentar garantir mais unidades, cada retalhista emitirá um pedido que excede em quantidade o que o retalhista solicitaria se o fornecimento do produto fosse ilimitado.

Esta técnica de gestão de inventário e encomendas irá iludir os elementos a montante da cadeia de abastecimento a concluir que a procura é superior à real, alimentando, artificialmente, o crescimento da variância na cadeia.

2.1.2 Estado atual do efeito chicote

Em 2016, Wang *et al.* analisou como o efeito chicote evoluiu, ao longo das duas décadas e as tendências atuais, baseando-se em 455 artigos revistos entre estudos empíricos e experimentais (Wang & Disney, The bullwhip effect: Progress, trends and directions, 2016).

Wang *et al.* sugere que, apesar do tema ser bastante popular na comunidade científica, continua a existir acentuada incerteza associada ao mesmo.

Por exemplo, estudos empíricos aparentam sugerir que o efeito é restrito aos elos intermédios da cadeia de abastecimento, o que contradiz o crescimento continuado da variância sugerida por modelos teóricos. Cadeias de abastecimento com procura sazonal tendem também a observar um efeito de suavização do efeito chicote. O autor também salienta a falta de estudos ao nível empresarial, alertando que estes podem revelar mais informação, relativamente a efeitos de suavização e ampliação.

Em complemento ao trabalho de LEE et al., Wang sugere cinco elementos essenciais a um modelo de estudo do efeito chicote, apresentados na Figura 4.

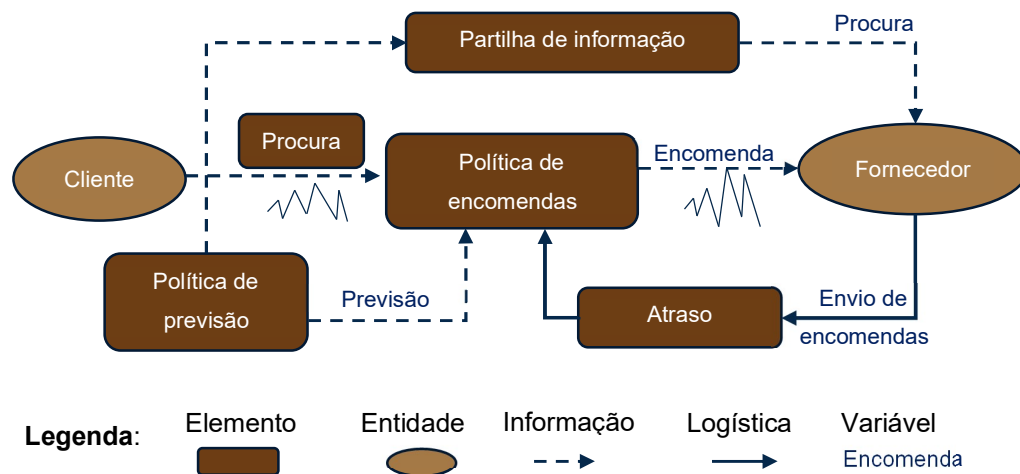


Figura 4 –Esboço de um modelo de efeito chicote típico

(fonte: adaptado de Wang & Disney, 2016)

2.1.3 Resposta contemporânea ao efeito chicote

A tendência atual de estudo do efeito chicote está assente em 5 dimensões, designadamente: procura, política de previsão, tempo de ciclo (*Lead time*), política de encomendas e partilha de informação.

2.1.3.1 Previsão da Procura

Este elemento é dos mais estudados e foram desenvolvidos vários modelos para tentar replicar o seu comportamento, numa determinada indústria, com diferentes complexidades que variam desde valores aleatórios, seguindo uma distribuição gaussiana simétrica, até modelos complexos como *auto-regressive integrated moving average* (ARIMA), que são atualmente a referência da indústria (Wang & Disney, 2016).

2.1.3.2 Política de Previsão

Este elemento deve utilizar o conhecimento adquirido com encomendas anteriores e ajustar os modelos de previsão, de modo a melhorar a sua precisão.

Por outras palavras, apesar dos modelos de previsão devolverem um valor esperado, cabe ao gestor tomar a decisão relativamente à margem de segurança que pretende adotar. A combinação de diferentes modelos com abordagens variadas irá dar mais dados e diferentes perspetivas para o decisor avaliar, cabendo ao mesmo definir quais as regras a aplicar em função dos dados disponíveis (Wang & Disney, 2016).

2.1.3.3 Variações no tempo de ciclo

Existem duas grandes frentes na interpretação deste fator para o efeito chicote, mais concretamente sobre se o aumento do tempo de ciclo está ou não relacionado com o aumento do efeito chicote.

Apesar de alguns autores afirmarem que a relação entre as variações no tempo de ciclo e o efeito chicote nem sempre se mantêm quando a procura é autocorrelacionada (Luong, 2007), a grande maioria dos especialistas defende que o efeito chicote aumenta com o tempo de ciclo, como é o caso de (Lee, Whang, & Padmanabhan, 1997) e (L. Chen & Lee, 2009), (Steckel et al., 2004)) e (Agrawal et al., 2009).

Existem até alguns casos, referidos por *Lee et al.*, em que vários autores sugerem mesmo que uns atrasos no tempo de ciclo podem ser boas notícias para os atores a montante da cadeia, podendo reduzir o efeito nas mesmas.

Ao modelar o tempo de ciclo como variável aleatória, os autores Chatfield et al., (2009) Kim et al., (2006) e Kim et al., (2006) mostraram que a variabilidade das encomendas aumenta com a variabilidade do lead time, argumento também apoiado por Ancarani et al., (2013).

Ao analisar prazos de entrega, os autores So & Zheng, (2003) e Boute et al., (2007) afirmam que se o efeito chicote é subestimado, a endogeneidade do lead-time é desprezada.

Sintetizando, a influência direta desta dimensão no efeito chicote não é unânime; apesar de alguns autores a desvalorizarem, a informação disponível sugere que embora seja difícil modelar a sua influência, ao ignorar a variável, os tempos do processo serão subestimados, aumentando significativamente o erro da previsão.

2.1.3.4 Política de encomendas

Esta dimensão de influência no efeito chicote tem duas opções, encomendas unitárias ou em grandes lotes.

Nesta secção, a literatura parece ser unânime, encomendas unitárias são mais eficientes na redução do efeito chicote. Todavia, é fundamental contextualizar outros aspetos da gestão de organizações na prática. Encomendas em lotes são muitas vezes favorecidas pelas empresas, normalmente, sobre a forma de descontos de quantidade. Lotes maiores favorecem economias de escala e, logo, muitos custos podem ser reduzidos, convertendo-se em ganhos para quem vende e para quem compra (Wang & Disney, The bullwhip effect: Progress, trends and directions, 2016).

Surge então o dilema: poupar recursos pela diminuição do efeito chicote, o que resulta em maior estabilidade dos processos, ou poupar nas encomendas.

De forma a melhor ilustrar esta questão, considere-se o exemplo ilustrativo de uma organização que precisa anualmente de 1040 unidades e que tem as seguintes opções:

- Encomendar um lote de 520 unidades, de seis em seis meses, onde irá ter descontos pela quantidade, mas, por outro lado, irá aumentar os custos de stock e o impacto no fornecedor será muito maior;
- Encomendar um lote de 20 unidades, semanalmente, onde não terá o desconto de quantidade, mas também não irá pagar custos de stock.

Existem muitas variáveis ignoradas, como custos de transporte, capacidades de armazenamento, entre inúmeras outras; o objetivo deste exercício não é ter uma resposta correta, mas chamar a atenção para a questão.

Apesar de vários estudos tentarem arranjar os melhores rácios de encomendas, por unidade de tempo, a variação, no rácio ideal, deve ser avaliada, por cada organização, tendo em conta a sua cadeia de distribuição, os seus produtos e as variáveis económicas do período temporal em que se encontra.

2.1.3.5 Partilha de informação

A partilha de informação, no contexto dos estudos do efeito chicote, significa a comunicação da procura do consumidor final a todos os membros da cadeia de abastecimento e, conseqüentemente, estes usam essa informação nas suas previsões. Em 1997, foi proposta a

partilha de informações como uma contramedida ao efeito chicote gerado pelo processamento do sinal da procura.

No século XXI, a componente da informação tornou-se um dos mecanismos de coordenação mais investigados. Teoricamente, a eficácia do método na redução do chicote também foi demonstrada várias vezes, relacionada também com diferentes fatores: a política de inventário de base e encomenda de lotes (Hussain & Drake, 2011), procura correlacionada (Gaur, Giloni, & Seshadri, 2005) e (Lee, So, & Tang, 2000), flutuações de preço (Ma et al., 2013) e (Gavirneni, 2006) e cadeias de abastecimento reversas (Adenso-Díaz, Moreno, Gutiérrez, & Lozano, 2012).

Foi também estudada a magnitude do benefício que este método potencial, com resultados que apontam para uma redução do crescimento da variância de uma ordem exponencial para linear, com o crescimento das encomendas (Dejonckheere et al., 2004; Kim et al., 2006).

Apesar do consenso apontar para os benefícios da partilha de informação, estão também identificados alguns fatores exógenos que interferem com o seu desempenho, nomeadamente, padrões da procura e prazos de entrega, sendo que, nos casos em que estas variáveis têm um peso relativo na previsão devem ser cuidadosamente acompanhadas, de forma a corrigir o modelo atempadamente (Steckel, Gupta, & Banerji, 2004).

Um dos casos onde se verifica maior benefício na partilha de informação é quando a procura é altamente correlacionada, altamente variável, ou quando o lead time é longo (Babai et al., 2016).

Outra dimensão de análise explorada foi em que posição da cadeia de abastecimento, este método teria mais impacto, ou seja, a montante, mais perto da produção e manufatura, ou a jusante, mais perto do cliente final. As conclusões destes estudos apontam para a hipótese de que os clientes beneficiam mais do que os fornecedores, no entanto, ainda não existem fortes evidências na documentação académica que fundamentem o mesmo (Yao & Zhu, 2021).

Apesar dos fortes indícios a favor da partilha de informação, alguns autores afirmam que o compartilhamento de informações, por si só, não pode eliminar o efeito chicote (Chen et al., 2000; Croson & Donohue, 2006; Ouyang, 2007; Sodhi & Tang, 2011). Os autores apontam para a importância de analisar outras variáveis, entre as quais as disparidades entre cadeias de abastecimento, sugerindo que a partilha de informação, por si, não pode ser encarada como uma solução universal para o efeito chicote.

2.1.4 A consciência ambiental e o efeito chicote – Efeito chicote verde

Nos últimos anos, surgiu este novo conceito que associa as preocupações ambientais a perturbações na variação das cadeias de distribuição.

Nas últimas duas décadas, a consciência ambiental tem vindo a ganhar cada vez maior influência nos consumidores, facto que se reflete fortemente na indústria.

Em 2014, foi analisada a influência das atuais preocupações ambientais nas cadeias de abastecimento, concluindo-se que os fatores ambientais estão a adquirir relevância nos consumidores, o que, naturalmente, irá ser passado ao longo da cadeia (Lee, Klassen, Furlan, & Vinelli, 2014). O autor sugere o termo efeito chicote verde (*Green bullwhip effect*) para este conceito e apresenta dois indícios do mesmo:

- A crescente procura por um melhor desempenho ambiental é transmitida a montante da cadeia de abastecimento com sucessivos níveis com variância significativa;
- A redução do tempo útil para satisfazer as especificações ambientais tende a catalisar o efeito.

Em termos empresariais, o efeito chicote verde é uma variável estratégica. As organizações devem analisar as suas respostas, atempadamente, de forma a atenuar os eventuais efeitos colaterais, trazidos por uma eventual alteração dos padrões de consumo ou regulamentação.

Apresentado o conceito, é importante distinguir o mesmo do efeito chicote que tem impacto na gestão de cadeias de abastecimento, pois, apesar de existir uma evidente influência na procura, os efeitos do mesmo são notórios a longo prazo, logo deverão ser um problema estratégico, em contraste com o efeito chicote “tradicional” com repercussões a curto e médio prazo, resultando num problema operacional.

2.2 Transformação digital e a viabilidade económica

A viabilidade económica de uma empresa é um tema complexo, pois, as suas variáveis podem estender-se por toda a organização; afinal uma empresa não passa de um sistema complexo com vários processos que, estando ou não formalizados e documentados, contribuem sempre, independentemente da sua importância relativa, para os resultados das organizações. Identificar causas internas de variação por si só, constitui uma área de estudo, então, será apenas referida a sua importância e que um dos alicerces fundamentais a ter em atenção é o mapeamento aprofundado dos processos internos. Conhecido o detalhe de cada processo, há que manter registos dos mesmos, para que então se possa tomar partido das novas tecnologias em prol da organização (Schneider & Kokshagina, 2021).

O tempo necessário para extrair dos dados informação valiosa vai depender, fortemente, da dimensão e da complexidade da organização, por norma, mais dados resultam em melhor informação, no entanto, significam custos mais elevados, logo, é fundamental uma boa análise dos custos verso os benefícios.

Neste capítulo, será explorado como a tecnologia disponível no mercado pode auxiliar as empresas e organizações, em geral, a melhor rentabilizar os seus recursos. Será abordada a ciência de dados (DS), *Machine Learning* (ML), mas também a visão estratégica da transformação digital.

2.2.1 O que é a transformação digital?

Já é evidente o potencial das novas tecnologias no incentivo à produtividade das organizações, no entanto, é imperativo que a sua integração seja cautelosamente gerida. Adotar uma nova tecnologia significa trazer disrupção à organização, ganhos potenciais, mas também novos riscos que têm de ser identificados e integrados na gestão de risco da organização.

A transformação digital não consiste num processo de trazer novas tecnologias para dentro das organizações, mas sim, em adotar um novo paradigma de gestão, com foco numa evolução continuada dos processos e estratégias empresariais, a par com os recursos disponíveis, com a visão de melhoria contínua assente nas melhores técnicas e tecnologias disponíveis para resolver problemas tradicionais (Matt et al., 2015; Tabrizi et al., 2019).

2.2.2 Como gerir uma transformação digital?

Da mesma forma que quando uma empresa pretende melhorar a qualidade dos seus produtos deve seguir boas práticas para implementar sistemas de gestão de qualidade, como a família das normas ISO 9000, para digitalização da empresa é importante procurar usar boas práticas adaptadas aos novos desafios que irão surgir (Tabrizi et al., 2019).

Mais uma vez, fazendo o paralelismo com a gestão da qualidade, uma estratégia de transformação tecnológica deve ser uma filosofia difundida pela cultura da empresa e é

fundamental que os conceitos sejam trabalhados com todas as áreas da organização e que nunca sejam vistos como um departamento à parte que irá trazer novas ferramentas e processos. Numa transformação tecnológica, o objetivo é aumentar a eficiência da organização e trazer maior valor acrescentado aos stakeholders, sejam eles clientes finais, acionistas ou os próprios colaboradores.

O primeiro passo da estratégia deve ser analisar a situação atual da organização, em termos técnicos, definir o estado atual. Aqui a empresa deve avaliar os seus recursos atuais, quais os ativos disponíveis, qual o conhecimento existente e qual a sua posição na economia. Desta primeira análise, deve resultar a descrição detalhada das tecnologias e processos existentes que deverá surtir num determinado grau de maturidade tecnológica, que servirá de alicerce para planear a estratégia futura de transformação (Laudon & Laudon, 2012).

Analisado o estado atual, sugere-se que sejam definidos os objetivos a alcançar, de acordo com a uma lógica SMART, acrónimo para objetivos específicos (*specific*), mensuráveis (*measurable*), passíveis de serem atingidos (*achievable*), relevantes e consistentes para a estratégia (*relevante*) e com metas temporais explícitas (*time-bound*).

Uma ferramenta de apoio à gestão para orientação na estratégia de implementação de uma transformação é o COBIT, apresentado no ponto seguinte.

2.2.3 Gestão da Transformação digital – COBIT 5

O COBIT é a abreviatura para controlo de objetivos para informação e tecnologias relacionadas (do inglês: *Control Objectives for Information and Related Technologies*) e consiste num conjunto de boas práticas a adotar no governo de tecnologias de informação.

Esta solução procura ajudar as organizações na sua transformação tecnológica, partindo, inicialmente, da avaliação do estado de maturidade tecnológica da organização e, a partir daí, alinha a gestão das TIC com a gestão empresarial, de forma a aumentar a eficiência dos mesmos como um só. Para tal, a ferramenta procura coordenar as seguintes 3 dimensões (ISACA, 2012):

- Critérios de Informação ou Requisitos de Negócio;
- Recursos de TIC;
- Processos de TIC.

Às dimensões utilizadas, na aplicação do modelo, são aplicados 5 princípios:

1. Atender às Necessidades das Partes Interessadas;
2. Cobrir a Organização de Ponta a Ponta;
3. Aplicar um Modelo Único Integrado;
4. Permitir uma Abordagem Holística;
5. Distinguir o governo da Gestão.

Combinando as referidas dimensões, o COBIT procura ajudar as organizações a fazer uma transformação digital, progressiva, sustentada e sempre com foco no aumento do valor acrescentado (de Haes et al., 2013).

2.2.4 Novos Riscos da transformação digital

Novas tecnologias trazem também novos riscos para os quais os gestores devem estar atentos, não que sejam de dimensão diferente dos tradicionais, mas por serem diferentes dos da gestão tradicional, com o acréscimo de nem sempre serem tão visíveis ou facilmente detetáveis como no passado.

Um exemplo cada vez mais noticiado são os casos de *ransomware*. Este conceito consiste num ataque informático feito à infraestrutura informática de uma organização em que todos ou parte dos seus dados são encriptados, sendo pedido um resgate em troca da descriptação dos mesmos. Outro exemplo são as fugas de informação, em que o atacante consegue invadir o sistema de uma organização e recolhe informação confidencial, sendo em seguida vendidos os dados a organizações criminosas ou simplesmente divulgados ao público (Dokuchaev, 2020).

A forma de mitigar estes novos riscos passa obviamente por ter uma gestão adaptada às tecnologias e de acordo com as melhores práticas da indústria, assentes em modelos de governo adaptados à rápida mutação do mercado tecnológico (Laudon & Laudon, 2012).

Uma das características da indústria 4.0 é a elevada quantidade de dados produzidos, o que traz novos obstáculos à gestão. Em seguida, serão abordados alguns dos temas mais relevantes que devem ser analisados pela administração.

2.2.4.1 Segurança, privacidade e proteção de dados

A segurança e a privacidade dos dados são uma das questões mais importantes a ser considerada, dado que, enquanto a maior parte das questões pode ser mitigada com alguma facilidade, uma fuga de informações confidenciais pode ter grandes consequências na organização, tanto a nível da reputação como a nível legal. Uma fuga de dados tem a gravidade acrescida de não ser reversível; a partir do momento em que os dados são divulgados na internet não é possível voltar atrás, pois, mesmo que sejam aplicadas medidas legais para impedir a sua divulgação em redes sociais ou qualquer outro meio, a complexidade, tanto a nível burocrático, como por vezes, técnico, acaba por atrasar as ações de mitigação e, em muitos casos, o armazenamento da informação na *deep web* não inviabiliza as medidas legais.

A União Europeia publicou, em 24 de maio de 2016, a última grande reforma ao Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD), o Regulamento Europeu 2016/679, mais atento à dinâmica contemporânea da utilização da internet e não demorou até aparecerem as primeiras sanções, pelo uso abusivo ou negligente dos dados pessoais dos utilizadores. Até à data, as maiores multas foram aplicadas às empresas tecnológicas, nomeadamente, a Amazon com 746 milhões de euros, a meta (empresa mãe do *Facebook* e *WhatsApp*) está a reservar 724 milhões de euros para multas associadas à violação de dados (Beesley, 2022), a *Alphabet*, empresa mãe

Google, com 207 milhões (distribuídos pelas filiais). No entanto, os reguladores estão atentos a toda a indústria e, em 2020, a empresa de têxteis H&M foi multada em 35 milhões, a empresas italianas TIM (telecomunicações) e Enel (energia) foram multadas em 28 e 27 milhões respectivamente (Tessian, 2022; BBC, 220).

As coimas relativamente à proteção de dados vão além do mundo empresarial, como é o exemplo da organização sem fins lucrativos britânica *Cancer Support UK*, multada em 16 mil libras esterlinas, e da organização religiosa *British and Foreign Bible Society* multada em 100 mil libras esterlinas (BBC, 2017).

2.2.4.2 Problemas da volumetria

Armazenar elevadas quantidade de dados não se resume ao espaço ocupado pelos mesmo, o fluxo e o processamento são tão importantes como os primeiros.

Elevadas quantidades de dados colocam bastante stress na infraestrutura da empresa, é então fundamental ter em consideração o potencial crescimento e identificar os possíveis pontos de falha. Planear uma arquitetura escalável é fundamental para evitar eventuais falhas de serviço em caso de crescimento rápido ou necessidades de re-arquitetura a médio prazo, (Kumar et al., 2017).

2.2.4.3 Problemas de integração

Cada problema pode ter diferentes soluções, todavia, é função da direção garantir um governo de IT orquestrado e eficiente. Apesar de uma ferramenta ter o melhor desempenho individual, não significa que a sua integração, na infraestrutura existente, não represente uma perda no desempenho global.

Escolher uma grande variedade de tecnologias também representa um obstáculo à integração, pois, implica ter mais técnicos especializados em cada uma e aumenta o risco de ter várias ferramentas para o mesmo fim, o que representa desperdício de recursos, (Boehm et al., 2019; Kumar et al., 2017).

2.2.5 Maus exemplos de transformação digital e o que aprender com eles

Tradicionalmente, as empresas mais inovadoras acarretam os maiores riscos, contudo, também os maiores ganhos. Este balanço leva muitas empresas a procurarem abordagens disruptivas, na esperança de atingirem posições de mercado dominantes.

Infelizmente, os riscos adotados também podem resultar em pesados custos nos balanços das organizações.

Num artigo de 2021, foram apresentados 3 casos de estudo em que os resultados da transformação digital não foram os esperados (Ramesh & Delen, 2021). Os autores sugerem que as empresas devem ser cautelosas na altura de embarcar numa transformação disruptiva. Antes de avançar por terrenos desconhecidos, uma organização deve familiarizar-se com os atributos das tecnologias e ponderar o valor adicional que irá ganhar com a transformação em contraste com as suas tecnologias atuais. Os autores também sugerem que a comunicação deve ser cuidada, é fundamental que a informação seja adequada a quem a recebe. Por vezes, é necessário apostar em formação antes de serem introduzidos novos conceitos, de modo que os mesmos não saiam distorcidos, sendo, igualmente, fundamental que a altura da passagem de informação seja a correta.

Um dos casos mais famosos das falhas na transformação e no governo de uma organização tecnológica ficou conhecida como *Healthcare.gov*. Este caso derivou da Lei de Proteção e Cuidado Acessível ao Paciente, ratificada pelo ex-presidente americano Barack Obama, que visava criar um sistema de saúde a preços acessíveis. O website *Healthcare.gov* consiste numa plataforma online que visa ligar os cidadãos a fornecedores de serviços de saúde a preços acessíveis, no entanto, o seu lançamento foi acompanhado por problemas, não acautelados pela equipa de desenvolvimento, que resultaram na inoperacionalidade do site, atrasando em 2 meses a sua disponibilidade com relativa estabilidade (Laudon & Laudon, 2012).

De acordo com as análises *a posteriori*, os principais fatores para a falha do lançamento foram:

- Vontade política sobrestimada e desalinhada com os recursos técnicos disponíveis;
- Gestão de projeto focada em tarefas de alto nível, descorando a gestão de baixo nível;
- Alteração de requisitos do projeto em fases avançadas sem revisão do contexto global;
- Falha na gestão de orçamento e tempos do projeto.

O caso de estudo *Healthcare.gov*, pela sua magnitude, é dos melhores exemplos de falha, mas também das melhores lições a estudar para definir uma estratégia de transformação digital eficaz (Anthopoulos et al., 2016).

Por fim, é essencial que nunca se perca a noção de que uma organização é composta por pessoas e se o peso das mesmas para a transformação não for ponderado, será o maior ponto de falha a ameaçar o sucesso do projeto.

2.2.6 Da ciência de dados ao *Machine Learning*

Ciência de dados e Machine Learning são dois tópicos bastante utilizados, na atualidade, muitas vezes apresentados como sinónimo de indústria 4.0 e solução para os problemas criados pela alta volumetria de informação criada, no entanto, estas soluções apresentam, também, um significativo nível de complexidade. Nos próximos pontos, serão explorados estes temas e outros deles derivados.

Ciência de dados consiste na ciência de estudo e exploração de dados com o objetivo de desenhar e gerir a melhor abordagem para extração de conhecimento dos dados. Da ciência de

dados derivam outras disciplinas especializadas com vista à resposta de problemas concretos das organizações. Um exemplo desta derivação é o Data Mining, uma disciplina focada na exploração de dados, estruturados ou não, à procura de padrões consistentes (Dhar, 2013).

No caso em que os dados estão associados a processos, surge o *process mining*. O objetivo deste é descobrir, monitorizar e melhorar processos reais, extraíndo conhecimentos de registos de eventos, disponíveis em diversos sistemas de informação organizacionais.

Paralelamente a estes temas, é comum surgir o termo inteligência artificial (IA) que, na verdade, é um conceito bastante abrangente, associado a um método não natural de tomada de decisão. Por outras palavras, um modelo de IA consegue tomar decisões de forma semelhante a um ser humano, sem controlo óbvio do seu comportamento.

Um exemplo de IA consiste nas assistências à condução como o *cruise control* que permite manter uma velocidade constante, corrigindo a aceleração do carro. Estes sistemas, apesar de simularem o comportamento humano, estão apenas a resolver um conjunto de operações lógicas, de forma a manter um determinado valor o mais próximo possível do valor objetivo. Um modelo avançado de IA é o piloto automático da Tesla, que toma partido de modelos avançados de ML para conduzir o automóvel, replicando o comportamento de um condutor humano, (Morando et al., 2021).

Fica então claro como o conceito de IA é abrangente, podendo-se assumir que é apenas uma abstração para um elevado conjunto de diferentes técnicas e tecnologias que assemelham o comportamento humano.

No caso do ML, temos ferramentas que visam gerar conhecimento a partir dos dados, de modo automatizado. O paradigma da automação muda, em vez de se programarem as ações a tomar com base numa determinada entrada, é fornecida informação ao sistema e é o próprio que define quais os melhores parâmetros a serem aplicados ao sistema, para melhor satisfazer o objetivo proposto. De forma simplificada, é natural encontrar as técnicas de ML numa das fases intermédias da metodologia de ciência de dados, não sendo necessariamente uma regra, e existem bastantes casos em que é viável e recomendada a aplicação direta de técnicas de ML (Dhar, 2013).

Como a Ciência de dados difere de *Machine Learning*?

Os conceitos apresentados, neste capítulo, não devem ser interpretados como subdivisões dentro da ciência de dados ou da inteligência artificial, pois, são disciplinas diferentes com finalidades diferentes, apesar da inegável interação e interceção entre as técnicas (Boehm et al., 2019).

Simplificando, a primeira foca-se na exploração dos dados com o objetivo de tirar conhecimento dos mesmos, o que, por fases, pode ser apenas manutenção de dados ou um tratamento estatístico elementar. O ML enquadra-se na IA e o seu objetivo é automatizar a tomada de decisão, fim que se atinge pela configuração de algoritmos especializados.

2.2.7 Metodologia da Ciência de dados

À semelhança das outras ciências, esta metodologia baseia-se no método científico, mantendo a abordagem sistemática a um determinado problema. A Figura 5 mostra uma das metodologias mais respeitadas na indústria, a *Foundational Methodology for Data Science*, desenvolvida pela IBM (Rollins, 2015), e vai ser utilizada para ajudar a desenvolver o conceito, por incluir uma abordagem genérica, mas apresentada de forma simples. De acordo com a literatura, esta metodologia é utilizada como referência na área da exploração de dados e as diferenças para as alternativas não são significativas, partilhando os passos essenciais (Ruiz-Lopez et al., 2021).

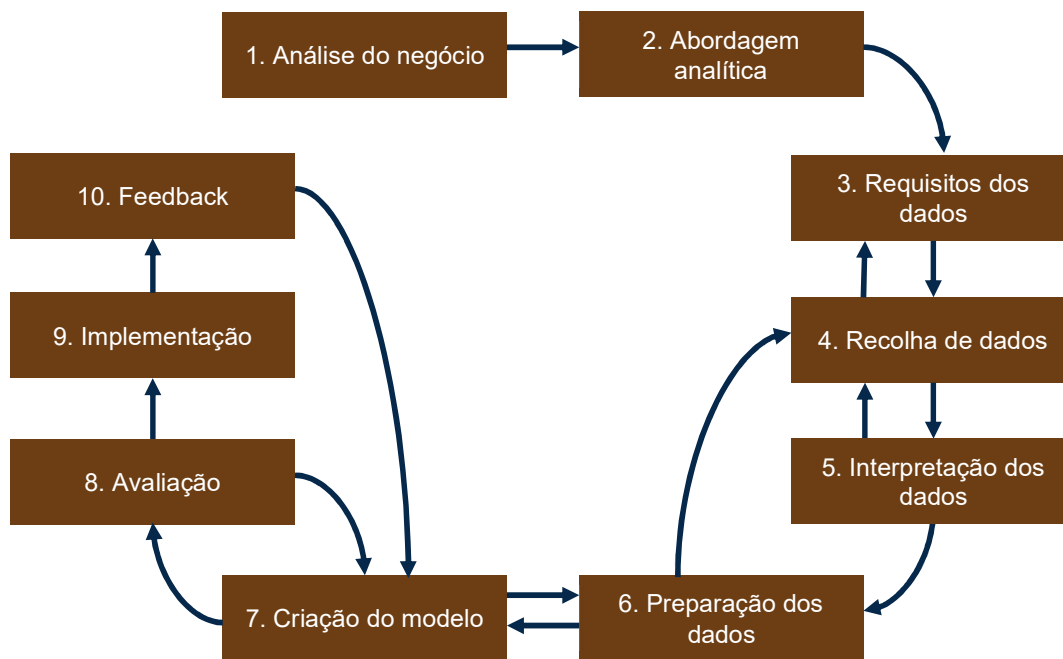


Figura 5 – Metodologia fundamental para a ciência de dados – IBM

Fonte: Adaptado de Rollins, 2015

Nos parágrafos seguintes, será descrita a Metodologia, desenvolvida por (Rollins, 2015).

Um projeto de ciência de dados inicia-se pela análise dos problemas da organização, são levantadas as regras de negócio e é feito o inventário dos dados disponíveis, ponto 1 da Figura 5. Em seguida, no ponto 2, de forma análoga à hipótese do método científico, avança-se para a formalização do problema a ser resolvido, este deve ser objetivo, por exemplo, definir que a resposta final do modelo deve ser “sim” ou “não” a uma pergunta, ou uma previsão de determinado valor. No ponto 3, analisam-se os dados necessários para desenvolver a hipótese anterior. Deve ser feito um levantamento do que existe e em que formato e localização dos mesmos. Este ponto tem elevada interação com o ponto 4. Neste último, é necessário avaliar a técnica de recolha e recursos necessários à mesma, podendo ser frequentemente necessário voltar aos requisitos, de modo a avaliar se os dados inicialmente ponderados, trarão o maior retorno, em relação ao esforço necessário. No ponto 5, inicia-se a interpretação, recorrendo a

técnicas estatísticas e analíticas, visando identificar e colmatar falhas ou erros que prejudiquem a qualidade dos dados e, conseqüentemente, do modelo.

No ponto 6, inicia-se a preparação da “matéria-prima” para o modelo, os dados são convertidos num formato passível de ser interpretado pelo algoritmo idealizado na abordagem analítica. Neste passo, pode ser necessário, por exemplo, converter imagens em matrizes normalizadas, partir um *dataset* e em vários mais pequenos, ou criar variáveis adicionais com vista à otimização do ambiente de desenvolvimento. Finalmente, no ponto 7, é desenvolvido o modelo de trabalho e, em seguida, é feita a avaliação do mesmo. Todo este processo de desenvolvimento é iterativo, muitas vezes não é possível prever o potencial de sucesso até à fase de avaliação, por exemplo, no caso em que o objetivo é identificar padrões divergentes, como é o caso da deteção de fraude na área financeira, isto significa que pode ser necessário voltar passos atrás e alterar as premissas iniciais, regredindo, se necessário, ao ponto 3 para reavaliar outros dados não considerados. O ponto 9 representa a implementação em produção do modelo e, por fim, a metodologia termina com o feedback. Se após algum tempo de estar em funcionamento, o modelo não resolver o problema inicialmente definido, no entanto, passou a fase de avaliação, significa que o contexto da mesma não reflete a realidade e deve ser investigado se os dados e parâmetros de treino do modelo estão adequados ou se a avaliação pode estar incorreta.

Apesar da eventual necessidade de retroceder a pontos anteriores da metodologia, não é referido o retorno ao problema, pois isso significa mudar o alicerce do projeto. Se a análise do negócio e a formulação do problema, no ponto 2, não foram bem executadas, todos os passos seguintes ficaram comprometidos, contudo, alterar o problema inicial representa iniciar um novo ciclo, o que, por um lado, pode corrigir um lapso anterior, por outro, pode dar origem a um ciclo continuado de alteração dos fundamentos sem nunca atingir os resultados esperados.

2.2.8 Aplicação de *Machine Learning*

Para criar um modelo de ML, antes de mais, é necessário definir o tipo de problema a resolver, de onde derivam os algoritmos a utilizar, seguido pelo tipo de aprendizagem onde se define a arquitetura a desenvolver.

2.2.8.1 Tipos de problemas

Os algoritmos utilizados são escolhidos em função do problema que visam resolver, sendo estes classificados nos seguintes grupos fundamentais (Gambella et al., 2021):

- **Classificação** – Estes algoritmos utilizam dados de aprendizagem para “aprender” as características que associam os dados a avaliar à classificação fornecida; após o treino, o algoritmo utiliza a informação “aprendida” para fazer novas classificações. Estes algoritmos são bastante utilizados para reconhecimento de fotografias e processamento automatizado de documentos.
- **Regressão** – O objetivo é entender a relação entre variáveis independentes ou características e uma variável dependente. Os resultados são calculados após a relação entre as variáveis independentes e dependentes ser estimada. A principal aplicação dos algoritmos de regressão é na previsão de valores numéricos, como a evolução de preços ou a previsão de encomendas.
- **Clustering** – Os algoritmos de *clustering* analisam a relação entre os dados de entrada e utilizam as semelhanças entre os mesmos para os agrupar em conjuntos de dados com as mesmas características. Estes algoritmos são especialmente úteis na identificação de padrões ou anomalias.

2.2.8.2 Tipos de aprendizagem

O passo seguinte na construção do modelo é definir qual o tipo de aprendizagem a adotar, sendo os principais: aprendizagem supervisionada, não supervisionada e por reforço, desenvolvidos em seguida (Boehm et al., 2019).

Aprendizagem Supervisionada – Os dados são fornecidos num par valor de entrada e resultado esperado; o modelo deverá, a partir dos exemplos fornecidos, na fase de treino, identificar o padrão que melhor relaciona o valor de entrada com o resultado esperado. Por fim, na fase de validação deve, recebendo apenas o valor de entrada, devolver o resultado esperado. Na Figura 6, o exemplo da esquerda ilustra este conceito; inicialmente, são alimentados dados de treino compostos por imagens de fruta com a etiqueta do nome, após o treino do modelo, ao serem alimentadas apenas as imagens, o modelo deve classificar a imagem com o nome correto.

Esta técnica é bastante útil para imensos problemas do quotidiano, nos quais existe informação prévia sobre o resultado esperado, como é o caso do reconhecimento automático de texto ou identificação dos componentes de uma fotografia.

Aprendizagem Não Supervisionada – Os dados são alimentados em bruto sem contexto associado, cabendo ao modelo identificar os padrões entre os dados. Na Figura 6, o exemplo,

ao centro, ilustra este conceito: os dados entram no modelo misturados e o modelo separa-os apenas pela análise das suas características. Esta técnica é extremamente relevante para agrupar *inputs* idênticos entre si, bastante útil, por exemplo, na segmentação do marketing e em redução de dimensões, como é o caso da análise de componente principal. Outros exemplos da sua aplicação é na identificação de transações bancárias fraudulentas, de spam no email ou de software malicioso num computador.

Aprendizagem por reforço: Neste caso, o modelo trabalha num ambiente dinâmico, onde as saídas são avaliadas e o peso dessa avaliação será utilizado para ajustar o modelo antes do cálculo da saída seguinte. Esta técnica é utilizada, por exemplo, pelo algoritmo da Netflix ou do Youtube, onde são apresentadas, inicialmente, propostas de vídeos ao utilizador e as suas ações são utilizadas para avaliar os resultados apresentados pela plataforma. Se o utilizador vir um dos vídeos propostos, a avaliação é positiva, se vir e gostar a avaliação é positiva, com peso mais elevado, se o utilizador desgostar do vídeo, a avaliação é negativa. Um exemplo famoso da utilização desta técnica é o programa da Google AlphaGo².

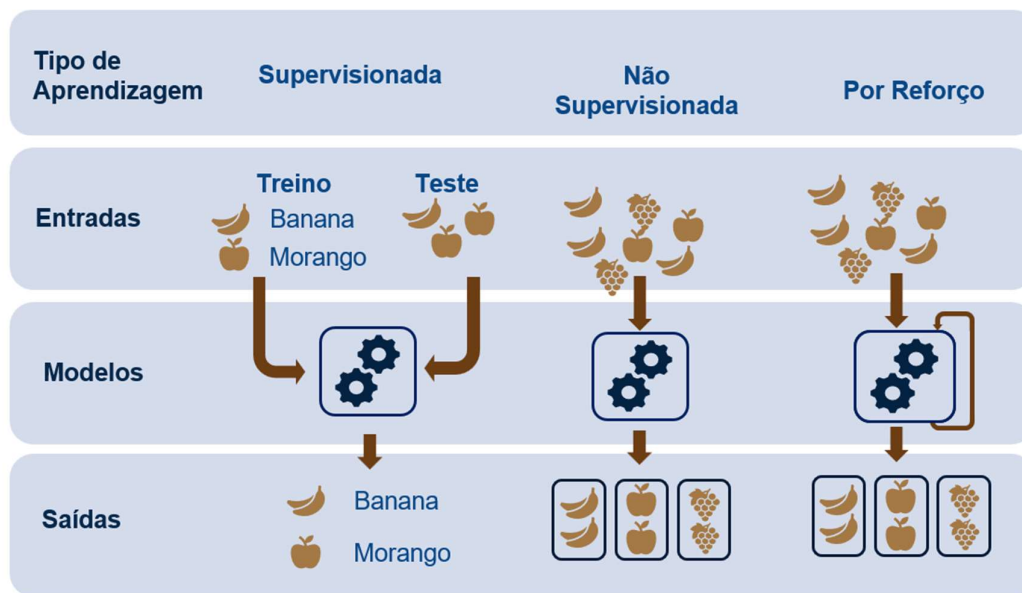


Figura 6 - Esquema da aprendizagem supervisionada, comparada com a não supervisionada

Fonte: Elaboração própria

² O AlphaGo é o nome do programa que permite disputar partidas do jogo de tabuleiro "Go", e venceu em 2016 o jogador profissional Lee Sedol, classificado como um dos melhores do mundo. A vitória num jogo de tabuleiro por um computador tem antecedentes, como o jogo *Deep Blue* versus Kasparov, no entanto o *Deep Blue* utilizada uma técnica de força bruta, calculando a probabilidade de sucesso de cada jogada com base em centenas de milhões de tabuleiros testados. Estima-se que o jogo Go tenha algo como 10^{800} possíveis combinações de tabuleiros, o que inviabiliza métodos de força bruta. No AlphaGo foram aplicadas técnicas de aprendizagem por reforço tanto a jogar com humanos como a jogar contra si próprio (Silver et al., 2016).

Deep Learning

Deep Learning (DL) consiste numa classe de algoritmos que, pelo seu essencial, potencial e também pela complexidade, merece especial destaque.

O componente elementar da técnica é o neurónio artificial, este é baseado no neurónio biológico, onde o aumento da concentração de neurotransmissores nos recetores das dendrites induz corrente elétrica num neurónio biológico, ativando-o. No caso do neurónio artificial, este recebe um valor de entrada que é passado por uma função de ativação, calculando o valor de saída.

Quando se adicionam vários neurónios para processar uma entrada, designa-se por camada, e a adição de várias camadas cria uma rede neural. Apesar de um neurónio isolado não trazer um ganho relevante ao sistema, o poder combinado de uma rede neural cria o mais próximo que existe de um cérebro artificial e dá aos robôs a capacidade de “aprender” pelo método de repetição que os humanos utilizam. A adição de um sistema de feedback, ao modelo, permite que o mesmo corrija os parâmetros de ativação nos neurónios, o que, com um certo número de iterações, irá aumentar a eficácia do modelo. A Figura 7 visa ilustrar os conceitos acima descritos (Mehrer et al., 2020).

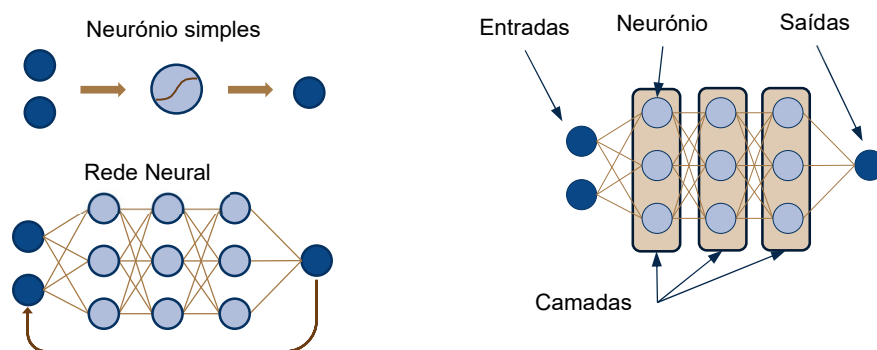


Figura 7 – Representação da composição e funcionamento das redes neurais.

Fonte: Elaboração própria

A configuração de um modelo de DL é realizada por um processo iterativo em que são testadas várias combinações de neurónios e camadas, de forma a identificar a combinação mais eficiente. É também necessário avaliar qual a melhor função de ativação a utilizar e o peso do feedback de uma iteração para a seguinte. Além da sua complexidade na implantação, o DL tem uma contrapartida técnica bastante relevante. Existe um poder computacional extremamente significativo, sendo que, atualmente, o equipamento de excelência para a computação dos mesmos passa pela utilização de unidades de processamento gráfico, vulgarmente mencionadas de placas gráficas que, pela sua natureza, são desenhadas para trabalhar grandes matrizes, tornando-os ideais para DL, todavia, o seu consumo energético é muito expressivo, o que se reflete nos custos (Steinkraus et al., 2005).

2.3 *Blockchain* na resposta às expectativas

Responder às expectativas ambientais e éticas de um cliente implica conseguir ganhar a confiança do mesmo na organização, nos seus processos e nos seus produtos ou serviços, no entanto, os recursos aplicados para este fim não trazem valor acrescentado à organização.

A tecnologia *Blockchain* é aqui introduzida como uma alternativa para aumentar a transparência e, assim, responder às expectativas do cliente, enquanto eleva o grau de eficiência de uma cadeia de abastecimento.

Blockchain ainda é uma tecnologia emergente, embora os conceitos que lhe estão subjacentes, como a utilização de criptografia para validação de identidade, remetam à década de 90, do século XX. Neste sentido, é de referir que, somente em 2009, surgiu a primeira implementação do conceito, como é hoje conhecido, tendo sido divulgado por um artigo de um autor anónimo sob o pseudónimo de Satoshi Nakamoto (Haber & Stornetta, 1991; Nakamoto, 2009).

O caso desenvolvido por Nakamoto consiste numa criptomoeda, designada de Bitcoin que toma partido da *Blockchain* para armazenar e partilhar transações da criptomoeda.

Uma criptomoeda consiste num ativo virtual que pode ser transacionado através de troca direta, de forma virtual, à semelhança das moedas físicas que podem ser passadas de mão para mão.

Embora seja bastante noticiado em associação à Bitcoin, o grande feito de *Nakamoto* consiste na tecnologia que suporta a referida moeda. Uma rede de *Blockchain* consiste num sistema distribuído que permite guardar dados e, ao mesmo tempo, possibilita a partilha da informação, de modo seguro e em tempo real, com a vantagem adicional de ser mais resiliente a ataques informáticos do que os sistemas tradicionais. Traduzido, literalmente, *Blockchain* significa cadeia de blocos e, na prática, uma *Blockchain* consiste exatamente num conjunto de vários blocos fundamentais, ligados entre si, umbilicalmente, pela informação neles contida (Haber & Stornetta, 1991).

Existem 3 tipos de *Blockchains*: pública, privada e híbrida. Na primeira, todos os dados são públicos e qualquer utilizador que pretenda participar e cumpra os requisitos técnicos pode fazer parte do sistema. A *Blockchain* privada é desenvolvida dentro de uma organização, os conceitos basilares mantêm-se os mesmos, no entanto, o acesso só é permitido a entidades internas. Por fim, uma *Blockchain* híbrida toma proveito dos dois mundos anteriores, dando a opção de manter parte da validação e auditoria dos dados ao público, mantendo, deste modo, a transparência do sistema, deixando, porém, alguns dados e operações restritos a uma organização fechada (Drakopoulos et al., 2019).

Para manter a simplicidade, ao longo da dissertação, os conceitos seguintes serão abordados no contexto de uma blockchain pública.

2.3.1 *Blockchain* vs criptomoedas

Apesar da forte ligação entre estes dois tópicos, é importante mantê-los separados, para garantir uma correta análise da tecnologia em si.

Como já foi descrito, uma rede *Blockchain* tem como função principal o armazenamento descentralizado de informação e o processamento das trocas de informação entre os seus utilizadores. Se é verdade que os primeiros casos de uso foram desenvolvidos à volta de transações económicas, também é verdade que o potencial da tecnologia vai bastante além dos casos iniciais. Por comparação, considere-se a história da *World Wide Web*, que partiu de uma ideia de Tim Berners-Lee, um cientista do CERN, com o objetivo de facilitar a troca de conhecimento. Esta ideia deu origem ao protocolo HTTP e ao HTML, tecnologias base para toda a internet como a conhecemos (Berners-Lee et al., 1992).

Feita a distinção, é ainda importante salientar que embora sejam temas distintos, atualmente, é inegável a sua correlação. Sendo uma rede distribuída, por definição não existe um ponto central de informação e a operacionalidade da rede está dependente de utilizadores que estejam dispostos a ceder os seus recursos para a manter; é neste ponto que a relação entre estes dois conceitos surge. Para tentar garantir o crescimento da rede e incentivar utilizadores a partilharem os seus recursos, muitas redes de *Blockchain* recompensam os seus utilizadores com *tokens* (criptomoedas) que podem ser trocados por moedas fiduciárias (moedas oficiais como é o caso do euro ou do dólar americano).

De forma a manter um ciclo económico sustentável, para criar uma transação na rede, a blockchain pode exigir o consumo dos tais *tokens*, criando um sistema circular, idêntico ao da figura seguinte (Yadav, Agrawal, Bhati, Al-Turjman, & Mostarda, 2020).

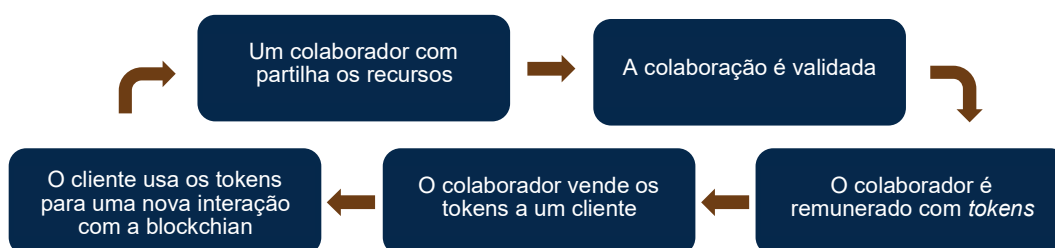


Figura 8 – Exemplo de interação económica numa Blockchain

Fonte: Elaboração própria

O sistema descrito trata-se de um exemplo simplificado, nos casos reais, cada rede de *Blockchain* define as regras que os seus criadores considerem mais adequadas para manter um sistema sustentável.

2.3.2 Funcionamento da tecnologia *Blockchain*

Em seguida, será desenvolvida a parte funcional da tecnologia, nomeadamente, quais os seus principais componentes e como se interligam.

2.3.2.1 Função *hash*

Consiste num algoritmo que mapeia dados de comprimento variável para dados de comprimento fixo, designado de *digest*, ou *hash*.

Mais concretamente, as funções *hash* utilizadas em *Blockchain* são designadas de funções *hash* criptográficas que, em complemento à definição anterior, adiciona-se a complexidade de uma função de sentido único, que consegue ser facilmente computada num sentido, mas, a probabilidade da computação inversa é de elevada complexidade. A definição teórica de uma função de sentido único é dada por (Impagliazzo & Luby, 1989):

Uma função $f: \{0,1\}^* \rightarrow \{0,1\}^*$ é de sentido único se f pode ser calculado por um algoritmo de tempo polinomial, mas, qualquer algoritmo aleatório de tempo polinomial F que tenta calcular o inverso para f apenas é bem-sucedido com probabilidade desprezível.

Para ajudar a visualizar a sua utilidade, considere-se o exemplo de uma função *hash* criptográfica muito utilizada nas comunicações encriptadas, o SHA-256,³ com um *digest* de 256 bits. Nesta dissertação, não serão analisados métodos de reverter funções criptográficas, contudo, como exemplo para reverter um SHA-256 por força bruta (testar todas as combinações possíveis) seriam necessárias 2^{256} tentativas, valor perto da magnitude do número de átomos no universo visível.

O exemplo da Figura 9 visa ilustrar e exemplificar a utilização, real, de funções criptográficas, e será descrito em seguida:

1. Em A, temos a informação inicial a ser encriptada;
2. B apresenta o *hash* obtido ao aplicar “informação_do_ator_1” à função SHA-256;
3. Em C, o *hash* de B é concatenado com nova informação, no caso “informação_do_ator_2”;
4. Em D, o *hash* de C é concatenado com nova informação, no caso “informação_do_ator_3”;
5. Em E, é apresentado o *hash* final da sequência;
6. F representa uma tentativa de adulterar a sequência, em que a *hash* resultante de C é concatenada com informação alternativa;
7. Após a encriptação, verifica-se que, apesar da diferença entre D e F ser apenas um carácter, o *hash* resultante é completamente diferente (E comparada com G).

³ SHA (*secure hash algorithm*), é funções criptográficas desenvolvidas pela agência de Segurança Nacional dos EUA, e utilizadas como standard para encriptação de comunicações (Hash Functions, 2015).

2.3.2.3 Assinatura digital

Assinatura digital consiste num método para autenticação de informação. O método utiliza um par de chaves pública e privada que, combinado com técnicas de encriptação de *hash*, garantem a integridade da informação. Uma assinatura digital deve satisfazer três propriedades (Fang et al., 2020):

- **Autenticidade:** o recetor deve poder confirmar que a assinatura foi feita pelo emissor;
- **Integridade:** qualquer alteração da mensagem faz com que a assinatura não corresponda mais ao documento;
- **Irretratabilidade:** o emissor não pode negar a autenticidade da mensagem.

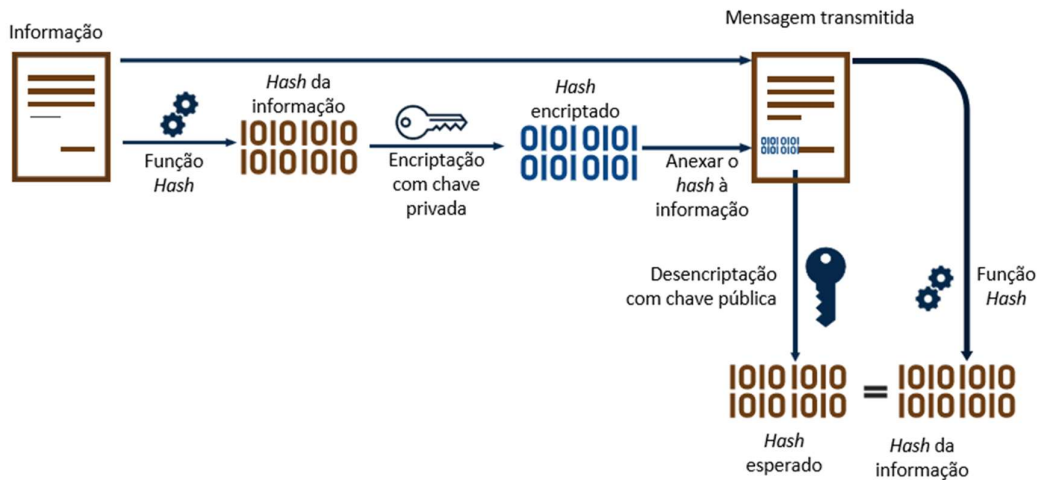


Figura 10 – Processo de assinatura digital de segurança de dados baseado em RSA⁴.

Fonte: Adaptado de Fang et al., 2020

A Figura 10 apresenta um exemplo de utilização de assinatura digital. O estado inicial é a mensagem a ser transmitida, a mesma passa por uma função de *hash* idêntica à mencionada no ponto 2.3.2.1. O *hash* ou *digest* resultante é encriptado com uma chave provada, dando origem à assinatura do documento, que é transmitida acoplada à mensagem original. Do lado do recetor, tendo este conhecimento da função *hash* utilizada, é novamente calculado o *digest* da mensagem. Utilizando a chave pública, a encriptação que deu origem à assinatura pode ser revertida, revelando o *digest* original. Por fim, ambos os *digests* podem ser comparados, se existir diferença entre o *digest* esperado e o calculado significa que a mensagem foi adulterada.

⁴ RSA (Rivest-Shamir-Adleman) é um dos sistemas de criptografia assimétrica mais utilizados, o seu nome deriva das iniciais dos seus autores Ron Rivest, Adi Shamir e Leonard Adleman.

2.3.2.4 Bloco

O bloco consiste na unidade fundamental da cadeia e é onde são guardadas as informações de transações validadas.

O primeiro bloco criado é designado de bloco g nese e serve de estado inicial do sistema e o bloco seguinte incluir  o *hash* deste primeiro bloco. Ao incluir o *hash* do bloco anterior no bloco seguinte, cria-se uma liga o inviol vel e rastre vel at    origem. A figura seguinte representa a liga o entre os blocos, com o detalhe em que o *hash* do bloco anterior   includo no bloco seguinte (Pierro, 2017).

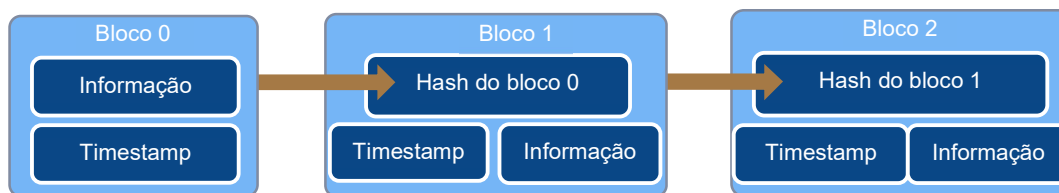


Figura 11- Processo de assinatura e valida o de informa o

Fonte: Elabora o pr pria

A Figura 11 apresenta uma ilustra o da constru o de uma rede *Blockchain*, onde os blocos est o ligados pelo *hash* do bloco anterior e pela natureza da fun o *hash*; se um  nico bite for violado, o *hash* resultante ser  alterado, o que ir  expor a adultera o.

2.3.2.5 Valida o

A valida o   um dos processos basilares para a manuten o de uma blockchain. Um sistema de valida o robusto deve ser eficiente, mas tamb m seguro, de forma manter a integridade da informa o do sistema.

Para atingir este objetivo, uma rede *Blockchain* utiliza n s (*nodes*), um conjunto de utilizadores que est o autorizados a manter o rastreio e a validar novas transa es. A dimens o do n  pode variar consoante a arquitetura, podendo ir de um computador at  a uma sub-rede com centenas de participantes. Os mineradores (*miners*) trabalham em conjunto com os n s, tendo a responsabilidade de computar a legitimidade das transa es, e, por sua vez, o n  tem a responsabilidade de coordenar a valida o, seja designar quem a far  como fornecer a informa o necess ria para tal (Bains, 2022).

2.3.2.6 Mecanismos de consenso

Num sistema distribuido,   fundamental que a gest o de conflitos esteja pensada desde a origem, n  s  para manter a operacionalidade aut noma do sistema, mas tamb m para garantir a fiabilidade do mesmo.

Em seguida, ser o apresentados os sistemas de provas ou mecanismos de consenso, mais utilizados para validar que todos os elos da cadeia est o em consenso sobre a validade da rede.

2.3.2.6.1 Prova de Trabalho – *Proof of work* (PoW)

Para controlar a velocidade de produção de novos blocos, é exigida a realização de uma tarefa ao utilizador. A execução da tarefa deve ser difícil e trabalhosa para o protocolo funcionar, mas não impossível. Por outro lado, a verificação da prova deve ser muito rápida e fácil de realizar. De modo a ilustrar uma prova de trabalho, considere-se o caso da bitcoin:

Quando são executadas transações na *Blockchain*, estas são validadas com a informação no sistema e agrupadas num bloco a ser “minado”. Em seguida, é gerado um problema que deve ser resolvido para adicionar o bloco à rede *Blockchain*. O termo mining consiste em realizar o trabalho necessário para resolver esse problema. Quando o primeiro computador consegue resolver o problema, o bloco é adicionado à *Blockchain* e o responsável por resolver o problema é recompensado com bitcoins. Neste caso, em particular, a dificuldade do problema varia automaticamente de forma que cada bloco demore aproximadamente 10 minutos a ser criado.

Este método tem a vantagem da robustez da sua proteção. No caso da implementação da bitcoin para um utilizador adulterar um bloco, este teria não só de violar a encriptação desse como de todos os blocos subseqüentes. Este conceito associado à validação de cada transação adicionada contra a informação na rede traduz-se na necessidade de controlar mais de 50% de toda rede *Blockchain*, um feito que, na prática, torna o sistema inviolável.

A desvantagem da PoW advém da sua própria robustez, uma vez que todos os computadores da rede estão a tentar resolver o mesmo problema, mas, somente um será recompensado, o que significa que todo o trabalho realizado pelos restantes é energia desperdiçada (Bains, 2022).

2.3.2.6.2 Prova de participação – *Proof of stake* (PoS)

Esta prova foi adotada com o objetivo de mitigar o consumo energético e o poder computacional não aproveitados.

Na PoS, os utilizadores disponibilizam as suas tokens como colateral, passando a validadores. Posteriormente, o sistema seleciona, aleatoriamente, um validador para validar um bloco, sendo o mesmo recompensado após verificação da validação.

A utilização de PoS tem a vantagem de consumir apenas os recursos necessários para validar os blocos; os utilizadores são desencorajados a tentar violar o sistema, pois, caso sejam detetados, perdem o colateral e são expulsos do mesmo.

A contrapartida deste método advém de criar a oportunidade de validadores com elevada quantidade de recursos criarem um monopólio com excessiva influência na validação das transações. Outra limitação que este sistema pode criar consiste na possibilidade de forçar o bloqueio de tokens por um período mínimo, reduzindo a liquidez no sistema (Bains, 2022).

2.3.2.6.3 Prova de queima – *Proof of burn* (PoB)

Neste método, os utilizadores queimam *tokens* para poder escrever novos blocos. A queima é realizada ao enviar *tokens* para um endereço inacessível que é, na prática, uma carteira sem chave privada, logo os *tokens* que são adicionados não podem ser removidos (Bains, 2022).

2.3.2.6.4 Prova de autoridade – *Proof of Authority (PoA)*

Este método é bastante semelhante à PoS, no entanto, em alternativa a reter como colateral, o PoA aproveita o valor das identidades, ou seja, os validadores dos blocos não colocam em causa os seus tokens, mas sim a própria reputação. As *Blockchains* PoA são protegidas pelos nós de validação que são selecionados, arbitrariamente, como entidades confiáveis.

O modelo de Prova de Autoridade conta com um número limitado de validadores e os blocos e transações são verificados por participantes pré-aprovados, que atuam como moderadores do sistema (Bains, 2022).

2.3.2.7 Contratos inteligentes – *Smart contracts*

À semelhança de um contrato tradicional, um contrato inteligente estabelece os termos de um acordo entre duas ou mais partes, todavia, estes são autoexecutáveis, adquirindo, assim, a designação de "inteligentes". Na prática, um contrato inteligente é materializado em código com várias cláusulas condicionais que associam vários possíveis estados. O contrato é autoexecutável, o que significa que, quando as condições contratuais são atingidas, o contrato é executado.

2.3.3 Análise de risco e pontos de falha

Como qualquer tecnologia, é fundamental ter em consideração o impacto dos eventuais pontos de falha e o risco que podem representar para a infraestrutura.

Com vista a manter a abordagem simples, este tema será abordado em duas partes. Inicialmente, de forma mais abstrata, analisando pontos de falha comuns das TIC e, numa segunda parte, explanando pontos de falha específicos de *Blockchain*.

2.3.3.1 Risco de IT

Atualmente, as comunicações digitais, via internet, utilizam um sistema de camadas, formalizado pela Organização Internacional de Normalização (ISO), em 1983, na ISO 7498, datando a última revisão de 1994. Este sistema de camadas é designado de modelo OSI, do inglês *Open System Interconnection*, e é composto por 7 camadas, onde, em cada uma delas, são executados comandos convencionados que possibilitam a comunicação, designados de protocolos. As camadas do modelo OSI, por ordem crescente de abstração, são: física, ligação de dados, rede, transporte, sessão, apresentação e aplicacional.

Sendo este modelo transversal a toda a internet, o risco trazido por uma aplicação *Blockchain* é idêntico a qualquer outro, seja um governo ou um banco, e será tanto maior quanto mais peças forem introduzidas no meio do processo.

A Figura 12 apresenta duas hipotéticas arquiteturas de sistemas que comunicam com uma *Blockchain*: à esquerda, o cliente utiliza uma aplicação em *cloud* para interagir com a blockchain, o que implica ter um *front-end* com autenticação e armazenamento de dados num servidor; à direita, o cliente acede, a partir do seu terminal, diretamente à blockchain.

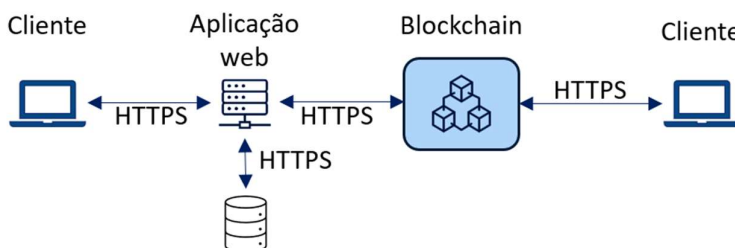


Figura 12 - Exemplos de possíveis arquiteturas de comunicação com Blockchain

Fonte: Elaboração própria

Num estudo de 2018, sobre os riscos associados ao *Blockchain*, segundo (Zamani, He, & Phillips, 2018), a grande maioria das falhas de segurança registadas aconteceram em componentes externos, seja nas ligações, nas infraestruturas de apoio ou de engenharia social.

Um caso que merece especial atenção é a engenharia social, que consiste na manipulação psicológica de pessoas para a execução de ações ou para a divulgação de informações confidenciais. Este tópico engloba várias ferramentas utilizadas de baixo nível técnico, mas que levam os alvos do ataque a fornecerem as credenciais de autenticação e, conseqüentemente, o acesso a sistemas protegidos. No caso das criptomoedas, o roubo das credenciais pode significar a perda total dos ativos.

Os pontos de falha anteriormente referidos são aplicáveis a qualquer aplicação exposta à internet. Seguidamente, serão apresentados os métodos de ataque mais utilizados no caso específico da blockchain.

2.3.4 Principais ataques a redes *Blockchain*

Neste ponto, serão descritos os principais ataques, de acordo com a literatura (Zamani, He, & Phillips, 2018):

- a) **Ataque de 51%** – Este ataque requer a orquestração de mais de 50% do poder computacional da rede. Se, eventualmente, um bloco fosse adulterado, quando fosse analisada a incoerência dos dados, a informação validada seria a que estivesse de acordo com a maioria dos utilizadores, logo, mais de 50% do poder computacional. O risco deste tipo de ataque é reduzido à medida que a rede cresce, pois, muito rapidamente, o custo e os recursos necessários para o executar diminuem a sua viabilidade.
- b) **Ataque de Sybil** – Este ataque consiste na criação de grande número de identidades pseudónimas, por outras palavras, criar um grande número de utilizadores virtuais e utilizar a influência do grupo para interferir no *Blockchain*. Esta virtualização de

utilizadores pode ser conseguida via software ou através de uma rede de diferentes computadores controlados pelo mesmo indivíduo. A mitigação do risco deste ataque está inversamente relacionada com o custo de criação de um utilizador, ou seja, quando mais difícil for a interação com o sistema menor será o risco. Nos casos em que é necessário poder computacional para interagir com o sistema, será necessário ter um computador por cada utilizador virtual utilizado no ataque.

- c) **Ataques direcionados ao utilizador** – Um dos pontos mais sensíveis de um sistema é o fator humano e as redes de *Blockchain* não são exceção. Ataques de *phishing* são bastante comuns, com vista ao roubo de chaves privadas, mas também existem outras ameaças de invasão de sistemas domésticos e ataques físicos.
- d) **Routing Attacks** – Um ponto sensível a ataques é a rede onde o utilizador está ligado, existindo diversas formas de ataque, semelhantes a sistemas tradicionais. (Apostolaki et al., 2017)

2.4 Partilha pública de informação

A relação da organização da empresa com o exterior, na indústria 4.0, apresenta um novo paradigma. A transparência, a responsabilidade social e a confiança da indústria são vetores que cada vez pesam mais nas decisões da gestão, o que acarreta novos desafios, complexos e com crescente impacto nos resultados económicos.

A redução do efeito chicote é favorecida pela partilha de informação entre os diferentes intervenientes da cadeia de abastecimento, no entanto, as organizações deparam-se, naturalmente, com um dilema, muito bem representado pelo dilema do prisioneiro, um problema clássico da teoria dos jogos (Jeong & Hong, 2019).

Num mercado competitivo, a informação é um ativo importante e a organização com mais informação sobre o mercado terá uma vantagem competitiva. Quando consideramos uma única cadeia de abastecimento, as vantagens da partilha parecem bastante superiores ao risco da partilha de informação, porém, as cadeias são complexas e nem sempre existe uma clara separação entre fornecedor e cliente. O crescimento de uma organização, por vezes, passa pela integração vertical de outros elementos da cadeia de abastecimento. Neste caso, uma empresa que antes partilhasse informação com esta poderá, neste contexto, estar a fornecer informação valiosa a um possível concorrente.

Na tentativa de melhor demonstrar as implicações da partilha de informação, considere-se o exemplo clássico da teoria dos jogos, o dilema do prisioneiro, ilustrado, na tabela seguinte, na sua forma normal.

No exemplo da Figura 13, temos duas organizações concorrentes no mesmo mercado com uma questão: Devem partilhar publicamente os dados da sua operação?









| | | Organização B | |
|---------------|---------------|--|--|
| | | Partilhar | Não Partilhar |
| Organização A | Partilhar | Ganho de A  Ganho B  | Perda substancial de A  Ganho substancial de B  |
| | Não Partilhar | Ganho substancial de A  Perda substancial de B  | Perda de A  Perda de B  |

Figura 13 – Dilema do prisioneiro aplicado a duas organizações.

Fonte: Elaboração própria

Se a organização A tomar a iniciativa de partilhar a informação, o resultado do jogo dependerá da organização B, se esta cooperar e também partilhar a sua informação, então ambos poderão beneficiar da mesma e utilizar a nova informação para otimizar as suas operações.

Se a organização A tomar a iniciativa de partilhar a informação, mas a organização B não partilhar a sua, ou partilhar informação falsa, então a organização A irá definir a sua estratégia assente em informação incompleta ou falsa, o que resultará em perdas para a mesma. Contudo, a organização B, tendo toda a informação operacional e o conhecimento adicional que a concorrente irá definir uma estratégia com informação falsa, irá desenhar uma estratégia com vista a maximizar os seus ganhos e lucrar com as perdas da organização A.

3 Modelo conceptual proposto

O do presente modelo visa apresentar uma possível implementação da utilização de Blockchain nas cadeias de abastecimento.

3.1 Objetivos do modelo

O modelo proposto tem como objetivo mitigar a influência das principais variáveis do efeito chicote, criando uma rede de cooperação, ao longo de toda a cadeia de abastecimento, assente em tecnologia *Blockchain*.

O seu desenvolvimento deve ser focado na otimização da comunicação entre diferentes atores da cadeia de abastecimento, enquanto facilita a entrada de novos atores.

Por fim, deve favorecer a transparência e ir ao encontro das preocupações associadas à sustentabilidade ambiental.

3.2 Apresentação do modelo

O modelo idealizado é composto por três entidades principais: o cliente, que tem a necessidade de fornecimento, o fornecedor que detém o objeto da necessidade e a blockchain, que faz a ligação entre os dois.

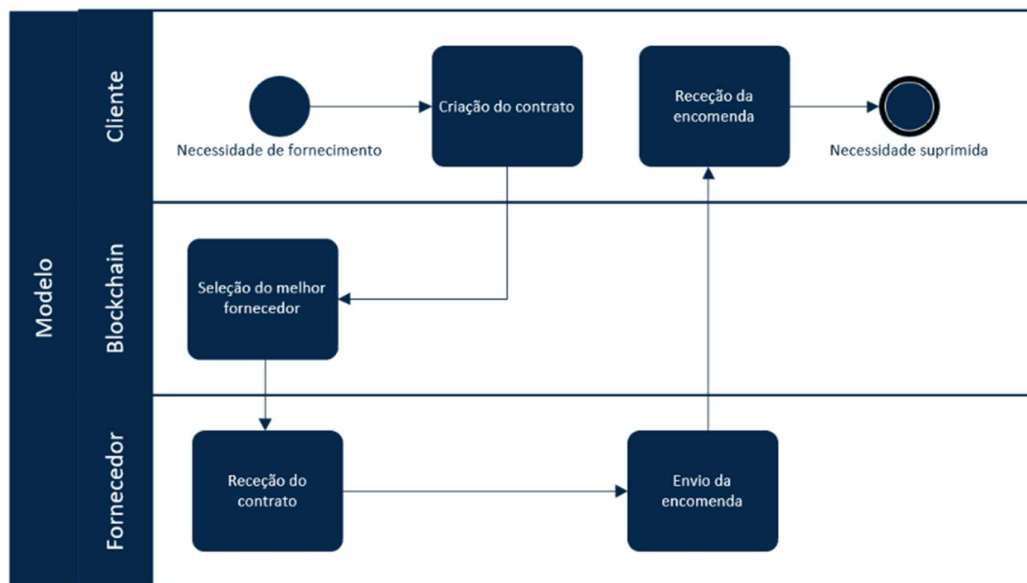


Figura 14 – Diagrama de atividades principais do modelo

Fonte: Elaboração própria

Na Figura 14, estão representadas as principais atividades. O processo é iniciado pelo reconhecimento de uma necessidade, por parte do cliente, que irá originar a criação de um contrato na *Blockchain*, onde esta irá validar a sua legitimidade e selecionar o melhor fornecedor

para o cliente, pelo processo descrito no ponto 3.2.3, por fim, irá enviar a encomenda, terminando o processo com a receção da mesma.

3.2.1 Detalhes do contrato

Para manter a confiança no sistema, é fundamental garantir que o nível de qualidade prometido corresponde ao fornecido. Esta meta pode ser obtida através de um sistema de classificação automática do sucesso da transação, sendo que, para tal, é fundamental que os contratos sejam detalhados e compostos por parâmetros mesuráveis.

Alguns dos parâmetros a incluir na publicação de um contrato devem ser:

- Detalhes do cliente
 - Identificador único do cliente;

- Detalhes do produto
 - Código do produto – Identificador único do produto;
 - Descrição do produto – Complemento ao código de produto;
 - Especificação do produto, usada para aferir o nível de qualidade do mesmo. A especificação pode conter graus de pureza, componentes presentes ou a ausência deles;
 - Intervalo de preço;

- Detalhes do transporte
 - Ponto de entrega;
 - Período temporal válido para a entrega;
 - Meio de transporte aceitável;
 - Nível mínimo de sustentabilidade.

Estes contratos seriam um dos pilares para o sucesso do modelo. Por um lado, ao ter uma especificação detalhada do produto, permite que os validadores possam, de forma automática, avaliar o sucesso da transação comercial. Se o cliente do contrato, ao receber a mercadoria, comprovar que as especificações recebidas estão de acordo com o expectável, esta informação fica automaticamente registada na *Blockchain* e a avaliação do fornecedor é automaticamente melhorada. Caso contrário, a avaliação do fornecedor é prejudicada.

Outro ponto interessante a implementar é o nível mínimo de sustentabilidade. Este parâmetro teria implícito, por exemplo, as emissões de CO₂ durante o transporte. Deste modo, o cliente pode favorecer fornecedores locais ou fornecedores que invistam em energias alternativas, de forma a compensar as suas emissões.

A implementação de um sistema que considere a sustentabilidade do transporte não é, certamente, uma tarefa trivial e, só por si, implica um estudo exaustivo e experimentação, no

entanto, a médio prazo, a própria *Blockchain* iria ajudar no desenvolvimento da mesma métrica. Utilizando os dados das transações, tanto da distância e características físicas como do peso do material transportado e outras variáveis tais como a frequência, a duração do transporte, entre outras, seria possível criar uma métrica ou algoritmo que refletisse melhor o impacto ambiental do transporte.

3.2.2 Arquitetura dos dados

A Figura 15 apresenta o diagrama de classes proposto para armazenamento dos dados. O ponto central é o a *Blockchain* que contem todos os atores e transações. O Ator é pode interpretar duas funções, como fornecedor ou como cliente, diferindo o tipo de contrato que submente. O contrato de Fornecedor apresenta as condições que pode oferecer, já o cliente apresenta as suas necessidades.

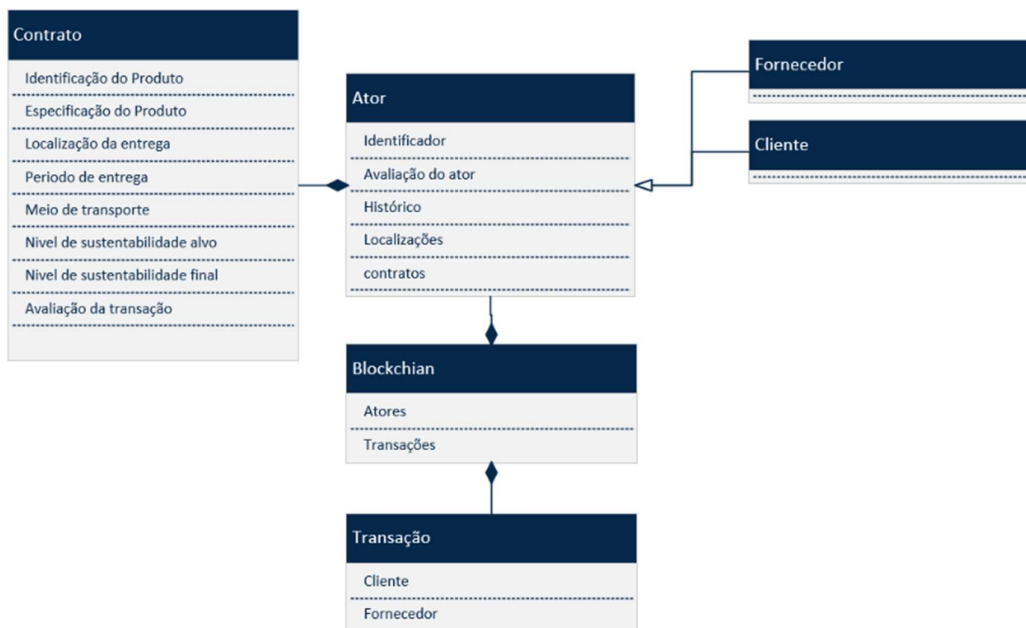


Figura 15 – Diagrama de classes proposto

Fonte: Elaboração própria

3.2.2.1 Atores

Foi idealizado um sistema baseado em *Blockchain* composto por 3 intervenientes principais:

- Cliente, no contexto do contrato, corresponde à entidade com alguma necessidade de produto ou serviço;
- Fornecedor, entidade com capacidade de resposta para a necessidade do mercado;

- Validador, entidade responsável por disponibilizar os recursos necessários para manter o sistema. O validador mantém a blockchain operacional, validando a legitimidade das transações efetuadas.

A nível de infraestrutura foram considerados mais três componentes:

- Validador, corresponde ao conceito de *Miner*, será o responsável por disponibilizar os seus recursos físicos, nomeadamente, poder computacional e armazenamento. Para incentivar a adesão ao sistema, o validador recebe tokens proporcionalmente ao poder computacional disponibilizado para a rede;
- Nós, responsáveis por gerir os validadores e sincronizar toda a informação na blockchain. Para ter um sistema eficiente, cada validador só recebe a informação necessária para validar os contratos e adicionar um novo bloco à rede, sendo, então, essencial a comunicação entre diferentes nós para manter o sistema resiliente;
- Cliente, neste contexto, o cliente é alguém que interage com a rede, independentemente da sua posição no contrato. O cliente não tem acesso a interagir diretamente na blockchain, para tal deve existir uma peça de software que faça o pedido de interação.

3.2.3 Seleção do melhor fornecedor

A seleção do melhor fornecedor deve ter em conta dois tipos de variáveis, rígidas e flexíveis, as primeiras selecionam o subconjunto de potenciais fornecedores (como ter o produto correto e o preço dentro de um intervalo aceitável) as flexíveis fornecem informação para os modelos de ML escolherem a melhor combinação (como a localização ou a sustentabilidade dos transportes). A Figura 16 apresenta o diagrama de atividades da escolha do fornecedor.

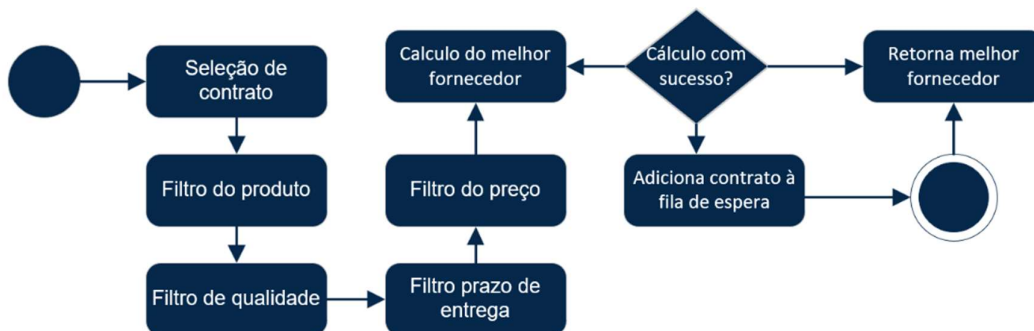


Figura 16 – Diagrama de atividades da seleção do melhor fornecedor

Fonte: Elaboração própria

A visão para a seleção do melhor fornecedor tem por base a utilização de algoritmos de Machine Learning com aprendizagem por reforço, desta forma ao longo do tempo, quantos mais transações contribuírem com feedback da satisfação do cliente, maior será a precisão do modelo.

3.2.3.1 Otimização com *Machine Learning*

Idealmente, os contratos deverão ter tanta informação mesurável quanto possível, a par com dados de identificação dos atores. Deste modo, à medida que os atores vão interagindo, a integração entre os melhores atores pode ser melhorada.

A visão deste modelo consiste em utilizar os dados de histórico para alimentar modelos de ML que devolvam o melhor fornecedor para o cliente. A utilização destas técnicas, em especial DL, permite que o modelo vá se ensinando a si mesmo, tal como desenvolvido no capítulo 2.3.4. Ao utilizar o feedback dos próprios atores para otimizar as futuras interações, cria-se um sistema de feedback positivo em que quanto, em que ao longo do tempo a distância entre as expectativas dos clientes e o valor recebido deve tender para valores tangentes.

3.3 Análise estratégica

A adoção de uma solução descentralizada representa um paradigma bastante diferente do atual, o que significa que antes da sua adoção é necessário compreender não só as suas potencialidades, mas também as consequências que a adoção trará.

De seguida, serão apresentadas diferentes análises estratégicas, com vista a abordar a temática por diferentes perspetivas e a ajudar a identificar pontos de falha ou salientar os pontos fortes.

A análise estratégica será focada na tecnologia blockchain, com o objetivo de aferir quão preparada e madura a mesma está, atualmente, para uma introdução na indústria atual.

3.3.1 Análise PESTAL

PEST é um acrónimo das dimensões que constituem a análise, designadamente: Política, Económica, Social, Tecnológica, Ambiental e Legal. O seu objetivo é fornecer um enquadramento dos fatores macro ambientais com vista a garantir que as decisões tomadas estão contextualizadas nas diferentes dimensões da sociedade, procurando, desta forma, identificar os fatores externos que podem influenciar, direta ou indiretamente, o futuro do objeto de análise (Kaplan & Norton, 2008).

3.3.1.1 Política

Para aferir a posição dos decisores políticos relativamente ao tema, foram analisadas as posições de três níveis diferentes de influência: global, regional e local, nomeadamente, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), a União Europeia (UE) e o governo português.

A OCDE foi escolhida por juntar 38 países com uma única missão: melhorar o bem-estar socioeconómico da sociedade. Segundo dados do banco mundial, o PIB combinado dos países membros representou, em 2021, 60% do PIB mundial⁵, o que pode ser interpretado como um bom indicador da sua influência nas políticas económicas. A organização mundial tem vindo a acompanhar, atentamente, a evolução da tecnologia, sendo, nesse âmbito, que, desde 2018, é realizado um fórum anual para discutir as políticas de adoção de *Blockchain*, o *Global Blockchain Policy Forum* da OCDE. Em junho de 2022, no Conselho da OCDE, a nível ministerial, realizado em Paris, foram elaboradas as Recomendações sobre *Blockchain* e outras tecnologias de contabilidade distribuída (OCDE, 2022).

As recomendações da OCDE representam a visão geral da organização, constituída por 5 dimensões de análise:

- Desenvolver abordagens políticas coordenadas sobre *Blockchain*;
- Promover o investimento em pesquisa e o desenvolvimento *Blockchain*;
- Desenvolver a capacidade humana no *Blockchain*;
- Apoiar um ambiente político favorável para *Blockchain*;
- Cooperação internacionalmente em *Blockchain*.

A par com as recomendações, a organização tem vários artigos que estudam o potencial da tecnologia e a implementação da mesma, com sugestões de políticas de implementação e de análise do contexto em que faz sentido, ou não, implementar blockchain.

A nível regional, foi analisada a União Europeia pelo poder de influenciar as economias e políticas internacionais, com especial ênfase no continente europeu, incluindo países fora da união.

A posição da UE relativamente à tecnologia *Blockchain* é bastante clara, a organização pretende posicionar-se como líder tecnológico e adotar condições para hospedar projetos com potencial da área, que tragam mais valor ao mercado europeu.

Para alcançar estes objetivos a estratégia da comissão europeia criou em 5 regras de ouro(Comissão Europeia, 2022):

- Sustentabilidade ambiental: a tecnologia *Blockchain* deve ser sustentável e energeticamente eficiente;
- Proteção de dados: a tecnologia *Blockchain* deve ser compatível e, sempre que possível, compatível com os fortes regulamentos de privacidade e proteção de dados da Europa;
- Identidade digital: a tecnologia *Blockchain* deve respeitar e aprimorar a estrutura de identidade digital em evolução da Europa;
- Cibersegurança: a tecnologia *Blockchain* deve ser capaz de fornecer altos níveis de segurança cibernética;

⁵ Em 2021 o PIB mundial foi 96 biliões de dólares americanos, o PIB dos países membros da OCDE foi de 58 biliões de dólares americanos, o PIB dos países membros da UE foi 17 biliões e o PIB português foi 250 mil milhões de dólares americanos.

- Interoperabilidade: *Blockchains* devem ser interoperáveis entre si e com sistemas ligados no mundo exterior.

Em paralelo com as regras de ouro, a união tem programas de financiamento de projetos na área tecnológica e está a desenvolver os seus próprios projetos de *Blockchain*, tais como o *European Blockchain Services Infrastructure* (EBSI) que consiste numa rede, ponto a ponto, de nós interconectados, executando uma infraestrutura de serviços baseada em *Blockchain*. Cada membro da *European Blockchain Partnership* (EBP) – os 27 países da UE, Noruega, Liechtenstein e Comissão Europeia – executará pelo menos um nó.

A EBSI atualmente já está operacional com 4 casos de uso associados à identificação de pessoas e validação e rastreabilidade de documentos. O projeto continua a expandir-se, sendo que os próximos projetos estão ligados à partilha segura de informação, microfinanciamento e gestão de processos de asilo.

Com base no exposto, é seguro afirmar que a UE não só tem uma posição muito aberta relativamente à adoção da tecnologia como a incentiva e procura apoiar as organizações para que ambas possam ser líderes tecnológicos, sem nunca esquecer a importância da estratégia e planeamento.

A nível local, foi analisada a posição política do governo português sobre a *Blockchain*. Sendo o país membro das duas associações anteriormente analisadas, a sua visão está, naturalmente, alinhada com as mesmas, contudo, os recursos são significativamente inferiores, o PIB português representa menos de 1,5% do PIB europeu. A estabilidade da política é bastante inferior, o que por um lado é natural, uma vez que estamos a comprar organizações internacionais que alinham visões estratégicas de longo prazo com um país relativamente pequeno, com um setor tecnológico com baixa representatividade.

Apesar das suas limitações, Portugal está disposto a acelerar o seu nível tecnológico. Em 2020, foi criado o Plano de Ação para a Transição Digital assente em 3 pilares (Presidência do Conselho de Ministros, 2020):

- Capacitação e inclusão digital das pessoas;
- Transformação digital do tecido empresarial;
- Digitalização do estado.

Os pilares do plano estão assentes em alguns fundamentos que lhes servem de base e visam catalisar a transformação. Os fundamentos catalisadores da estratégia de transição digital são:

- Regulação, privacidade, cibersegurança e ciberdefesa;
- Economia circular dos dados;
- Conectividade e infraestrutura;
- Tecnologias disruptivas;
- Alinhamento com a estratégia digital europeia;
- Comunicação e promoção.

Em sequência com o plano de ação, está a ser criado um grupo de trabalho composto por diferentes entidades públicas e privadas, academia e especialistas, com o objetivo de desenvolver uma estratégia nacional de *Blockchain* até 2023 (Estratégia Nacional de Blockchain, 2022).

3.3.1.2 Económica

A transação de valor é apenas um dos muitos casos de uso da *Blockchain*, todavia, na conjuntura atual é, indubitavelmente, onde se está a sentir um maior impacto da tecnologia. Em novembro de 2021, o mercado das criptomoedas atingiu o teto máximo de 2,96 biliões de dólares americanos, um salto de quase seis vezes o valor do período homólogo. Para referência, o PIB do Reino Unido e da França, em 2021, foi, respetivamente, de 3,1 e 2,9 biliões de dólares americanos (TradingView, 2022).

Em abril de 2022, o fim da pandemia voltou a ativar a economia, aumentou a circulação de bens e valores e o mercado das criptomoedas teve uma correção para metade do valor verificado em novembro.

O crescimento do mercado das criptomoedas vem em sequência de vários novos projetos de *Blockchain* com diferentes casos de uso e, a par com a notória volatilidade do valor do mercado, é importante ter também em conta que, além do valor potencial que os novos projetos trazem, poucos estão em fase de produção, isto é, são poucos os projetos com produto terminado que possa ser facilmente integrado numa organização.

Como já foi referido, *Blockchain* é a tecnologia e não deve ser confundido com o mercado das criptomoedas, o potencial valor virá com ganhos na otimização dos processos e com novos casos de uso que resultam em novos mercados.

A Figura 17 apresenta o relatório da consultora Gartner sobre o interesse aparente das tecnologias emergentes, em 2022, onde é sugerido que a desvalorização do mercado foi causada por atores corruptos, com casos de uso fraudulentos ou mal construídos. No mesmo relatório, é referido que a tecnologia em si não colapsou, os protocolos continuaram a funcionar normalmente e os contratos inteligentes a serem automaticamente fechados.

Segundo a Gartner, estão a ser detetadas melhorias graduais nas tecnologias, mas ainda não surgiram casos de uso agressivos, com produto completo e disruptivo sem paralelo na indústria tradicional, que possa catalisar o desenvolvimento da tecnologia (Litan, 2022) .

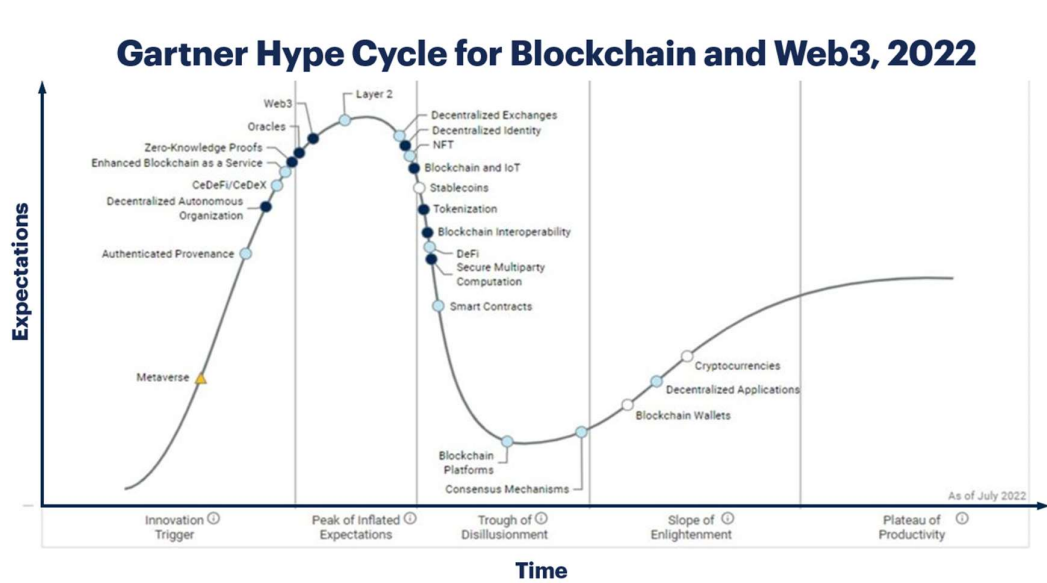


Figura 17 – Relatório hype cycle para da Gartner em agosto de 2022

Fonte: Litan, 2022

Uma comparação justa para a adoção de *Blockchain* será a adoção da internet, não só pelas suas características tecnológicas, mas pelo potencial de aplicação nas organizações.

Os ciclos de desenvolvimento, e adoção das tecnologias são característicos de todas as transações disruptivas, considerem-se os seguintes exemplos:

A Amazon é um dos maiores casos de sucesso das empresas tecnológicas. Embora tenha começado no retalho online, atualmente, tem 34% do mercado de *cloud*, valor que se somado aos 21% da Microsoft significa que 55% de todas a infraestruturas de *cloud* estão sob a alçada de duas empresas, percentagem de mercado que representa 112 mil milhões de dólares americanos (Statista, 2022).

A *cloud*, como tecnologia, passou de emergente para a fase de crescimento após a bolha das *dot com*, no início dos anos 2000, no caso da Amazon, o serviço Amazon Web Services (AWS) foi criado em 2006. Alguns anos mais tarde, em 2008, a Microsoft anunciou a Azure e na década seguinte os serviços em *cloud* cresceram a ritmo acelerado, sem grandes indícios de estagnação até ao momento.

É impossível dizer se a tecnologia *Blockchain* seguirá o mesmo ritmo da *cloud*, no entanto, dadas as suas semelhanças a nível de infraestrutura, de conhecimentos técnicos e de necessidade de recursos, é provável que esta seja das comparações mais justas.

Um mercado que, potencialmente, tem bastante a ganhar com a adoção da tecnologia vem dos países emergentes. A figura seguinte revela um grande crescimento no acesso à internet pela população de países em desenvolvimento. A redução do preço dos componentes eletrónicos dos últimos anos já estava a incentivar esta adoção, porém, é inegável que a pandemia de 2020 foi

o maior catalisador para a adoção dos serviços online e para a digitalização dos serviços públicos. Tendo acesso à internet, abre-se a porta à possibilidade de um utilizador localizado num dos países com mais baixa taxa de desenvolvimento, utilizar a mesma plataforma que um utilizador em Nova Iorque. Contudo, o acesso a um servidor AWS estará sempre dependente do sinal viajar desde o país de origem até um centro de dados da empresa, o que, por vezes, pode ter distâncias consideráveis, como por exemplo, o caso do continente africano, onde só existe um centro de dados AWS na África do Sul. A adoção de blockchain em países emergentes pode ajudar a contrabalançar a falta de centro de dados, com recurso a servidores mais pequenos e bastante mais económicos (Amazon Web Services, 2022).

Resumindo, ainda existe uma grande incerteza sobre como a economia irá reagir à *Blockchain*, no entanto, existem indicadores positivos e paralelismos com tecnologias semelhantes que parecem favoráveis ao seu desenvolvimento.

3.3.1.3 Social

Para uma tecnologia disruptiva não existe concorrência direta, todavia, isso também pode ser indício de não existir mercado. Nos parágrafos seguintes, será analisada a posição da sociedade face à *Blockchain*.

A Figura 18 representa a adoção da rede Ethereum⁶, ao longo dos anos, onde o crescimento é notório. Na mesma podem observar-se as localizações dos nós da blockchain e, apesar de estes não representarem, necessariamente, a localização dos utilizadores, a sua dispersão, ao longo do globo, é um bom indício do interesse da sociedade na tecnologia, enquanto fornece condições favoráveis para a adesão de novos utilizadores.

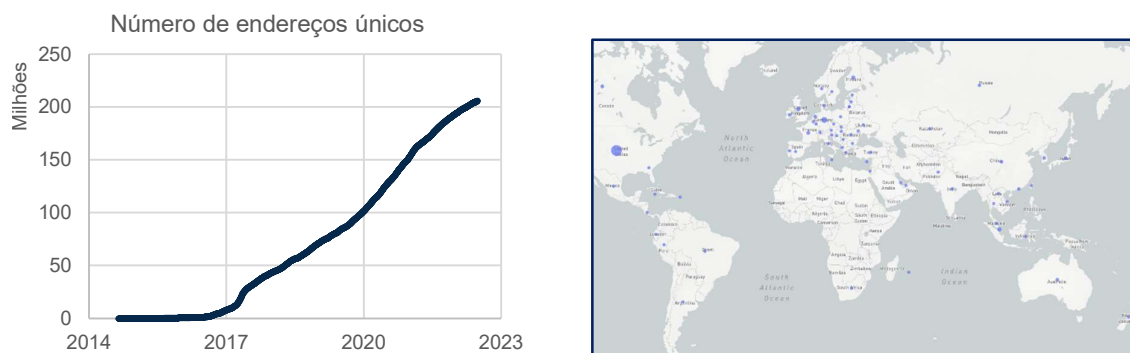


Figura 18 – Evolução dos endereços únicos da e localização dos nós da rede Ethereum.

Fonte: adaptado de <https://etherscan.io/chart>, acedido a 20/08/2022

Segundo dados da UNICEF, presentemente, existem mais de cem milhões de crianças em situação de trabalho infantil, associado às cadeias de abastecimento da alimentação, do vestuário e da eletrónica (Jackson, 2019). Embora estejam, há bastantes anos, a serem tomadas medidas para suprimir esta prática, a solução não é trivial e, do lado do consumidor, o boicote às organizações não é nem uma decisão fácil, nem bem informada, pois, na verdade, apesar de existir um acompanhamento das empresas a nível da gestão da qualidade, das imposições legais e da sociedade, no geral, via jornalismo ou ativismo, no fim do dia, é impossível, para o consumidor mediano, avaliar se o iPhone ou a camisa que está a comprar provêm do trabalho infantil.

A associação dos intervenientes de uma blockchain pública tem o potencial de trazer mais transparência às cadeias de abastecimento, permitindo o rastreamento dos produtos, ao longo de toda a cadeia e, desta forma, ao ser identificado que uma empresa, em determinado período, teria cooperado com alguma atividade que fosse contra as expectativas éticas dos clientes, seria

⁶ *Ethereum* é uma rede *Blockchain* que aquando da elaboração deste documento, segundo o site *tradingview.com*, representa perto de 20% do mercado das criptomoedas, ficando apenas atrás dos 40% da *Bitcoin*. A *Ethereum* foi escolhida para os exemplos seguintes por ser a plataforma descentralizada tecnicamente mais capaz de aplicar casos de uso de automação, de entre as principais *Blockchains*.

tecnicamente viável mapear, de modo célere, quais os produtos que resultavam destas mesmas atividades.

Um caso de uso tecnicamente semelhante e também com bastante valor potencial para a sociedade é a utilização de *Blockchain* para rastrear produtos alimentares, de modo a garantir a qualidade e origem dos mesmos. O uso de produtos alimentares de base vegetal tem vindo a crescer, continuamente, na ordem dos 2 dígitos percentuais, na última década, com previsão de manter a tendência, atingindo os 162 mil milhões de dólares, na próxima década (Statista, 2021; Veronika & Boyd, 2021). Os produtos vendidos, seja como uma alternativa mais sustentável, seja como alternativa ética à exploração de animais, têm o problema intrínseco de que as suas vendas estão fortemente ligadas à sua reputação, pois, a sua vantagem competitiva consiste exatamente na alegação de uma alternativa melhor. O problema consiste em garantir que o produto publicitado corresponda ao produto real. A utilização de blockchain nestas cadeias de abastecimento permite, à semelhança do caso apresentado previamente sobre as crianças, rastrear o percurso do produto e validar a sua autenticidade.

Os casos apresentados visam dar uma pequena ideia do potencial para a sociedade, sendo que, em simultâneo, existem outros como sistemas de identificação, que agilizam o processo de asilo de refugiados, estando este exemplo, entre inúmeros outros, a ser desenvolvido pela União Europeia (Comissão Europeia, 2022).

3.3.1.4 Tecnológica

Nesta componente, serão abordadas duas dimensões, o hardware e os técnicos qualificados.

A nível de hardware, a análise é bastante favorável à blockchain, em primeiro lugar o protocolo está assente em cima da infraestrutura já utilizada pela internet “normal”, que como se viu na Figura 19 está em rápida expansão. Em segundo, o poder computacional tem crescido significativamente, o que possibilitou ter dispositivos pequenos suficientemente potentes para um elevado número de comunicações de alta velocidade.

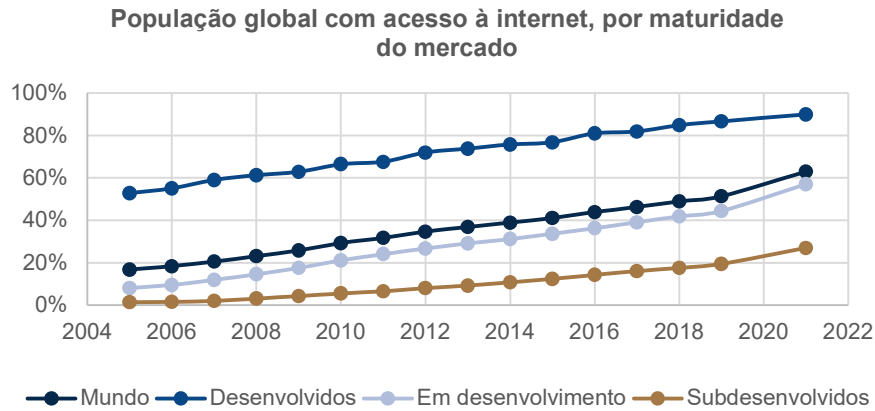


Figura 19 - Percentagem da população com acesso à internet por nível de desenvolvimento.

Fonte: (Statista Research Department, 2022)

Além do obvio crescimento do número de cálculos ou transações por segundo, um forte indicador da maturidade do hardware é o recente crescimento das ferramentas de ML ou as plataformas de *low-code*, pois, há poucas décadas, o foco dos gestores das empresas de software era a eficiência do código, hoje, o foco assenta no tempo do programador.

Do lado humano da tecnologia, será necessário desenvolver o mercado para aparecerem mais profissionais capazes de desenvolver os projetos, no entanto, apesar do “motor” da tecnologia ser disruptivo, o restante componente tem grande acessibilidade no mercado. Por outras palavras, para ter um projeto bem-sucedido, são necessários gestores com visão e conhecimento do produto e do mercado, tal como responsáveis de operação com capacidade técnica, de forma a criar arquiteturas resilientes e com qualidades, contudo, a execução das tarefas técnicas de baixo nível não difere de outros projetos tecnológicos.

Só o tempo dirá se será a melhor altura para a blockchain passar ao mercado principal, todavia, tecnologicamente não existem indícios de entraves significativos, quando comparado com áreas semelhantes.

3.3.1.5 Ambiental

A tecnologia *Blockchain* teve, principalmente, um pico de popularidade, em 2021, noticiada como uma tecnologia poluente. Esta argumentação deve-se, sobretudo, à criptomoeda bitcoin que, na altura, dominava o mercado com um cota de 70%. No ponto 2.3.2.6 - Mecanismos de consenso, desta dissertação, falou-se das técnicas mais utilizadas para manter a integridade da *Blockchain*, onde também foi referido que a prova de trabalho, usada pela bitcoin, tem um consumo energético bastante significativo, no entanto, foram também identificados métodos alternativos. Em suma, o problema não está na tecnologia utilizada, mas, na arquitetura da mesma. Esta visão é corroborada por decisores como a OCDE, EU e o FMI, (Bains, 2022; Comissão Europeia, 2022; OCDE, 2022).

Outro potencial impacto positivo da *Blockchain*, que já foi, igualmente, abordado nesta dissertação, consiste em desenvolver casos de uso que reduzam intermediários nas transações e incentivem à utilização de tecnologias sustentáveis pelo rastreamento dos produtos intermédios. No fim do dia, o impacto ambiental deve ser medido não só pelas emissões diretas, mas também pelo balanço global, quando comparado com as alternativas disponíveis.

3.3.1.6 Legal

O impacto da legislação num projeto de *Blockchain* é, potencialmente, o mais complexo de analisar. Em primeiro lugar, porque uma tecnologia emergente não é, tendencialmente, o foco dos reguladores e, em segundo lugar, não seria sensato começar por regular uma tecnologia de base, mas sim os casos em que é aplicada.

Atualmente, a maior preocupação a este nível está centrada nas transações económicas. Usando como exemplo a bitcoin, sendo esta descentralizada, não existe nenhum órgão regulador que controle as transações, porém, grande parte dos recursos convertidos em bitcoin derivam de moedas fiduciárias, e essas podem e são controladas. Como já foi mencionado na componente política, no caso da União Europeia e da OCDE, existe abertura para o tema e estão a ser realizados esforços para responder às necessidades (Amaral, 2021; Pausch-Homblé, 2022).

Fora das criptomoedas, um dos maiores temas a ter em atenção é a exposição dos dados. É imperativo que o desenvolvimento seja pensado, tendo como prioridade a segurança dos dados, de forma que não exista violação de informações sensíveis dos clientes, o que, como já foi referenciado no ponto 2.2.4. Novos Riscos da transformação digital, pode resultar em pesadas sanções.

3.3.2 Curva do ciclo de vida da adoção do *Blockchain*

A Curva da Adoção de Inovação consiste num modelo criado pelo sociólogo Everett Rogers. O modelo é composto por 5 fases, associadas a cotas de mercado. Estas fases podem ser ainda agrupadas em dois tipos de mercado, as duas primeiras compõem o mercado inicial e as três últimas constituem o mercado principal. Este modelo foi desenvolvido por Geoffrey Moore, resultando no modelo abordado mais à frente.

A análise PESTAL permitiu abordar diferentes perspetivas da tecnologia e identificar as tendências da mesma. A avaliação realizada aponta que a tecnologia *Blockchain* esteja na fase de transição entre os *early adopters* e a maioria inicial que, na ótica de Geoffrey Moore, corresponde a uma fase difícil, em que é fundamental provar o seu valor, ou acabará por cair no abismo (Moore, 2014). A Figura 20 apresenta a curva de adoção de tecnologia, separada por Moore, para incluir o abismo que divide os mercados, de baixo para cima temos a cota de mercado, o nome da fase e a característica principal dos adorantes



Figura 20 – Curva de adoção, com abismo de Geoffrey Moore.

Fonte: Adaptado de Moore, 2014

Surge então a questão: como cruzar o abismo? Moore sugere a estratégia, que o mesmo intitulou de "*Bowling Alley*", onde a ideia é escolher o melhor pino de forma a derrubar os restantes e dominar a pista. Na prática, o objetivo é identificar os nichos de mercado com problemas concretos e fornecer uma solução efetiva para o problema de um nicho, o que criará uma ponte sobre o abismo. Posteriormente, avançar-se-á para o nicho seguinte até ter uma posição relevante no mercado. Em resumo, para a tecnologia blockchain crescer para o mercado principal

é imperativo que sejam identificados os casos de uso mais promissores e fornecer soluções completas, que resolvam os problemas das organizações.

Esta visão do posicionamento perto do abismo e as sugestões de Moore para o cruzar estão completamente alinhadas com a posição da Gartner, comentada no ponto 3.3.1.2, na análise de PESTAL, reforçando assim o argumento do posicionamento.

3.3.3 Modelo Unificado de Aceitação e Uso da Tecnologia – UTAUT

Para tentar analisar o potencial de expansão da tecnologia, passando, assim, à fase de adoção generalizada, será utilizado o modelo unificado de aceitação e uso da tecnologia (UTAUT, do inglês *Unified theory of acceptance and use of technology*), representado na Figura 21. O objetivo da aplicação do UTAUT, nesta dissertação, visa, somente, a identificação de dimensões de análise relevante e complemento à análise do modelo proposto no ponto 3 da mesma.

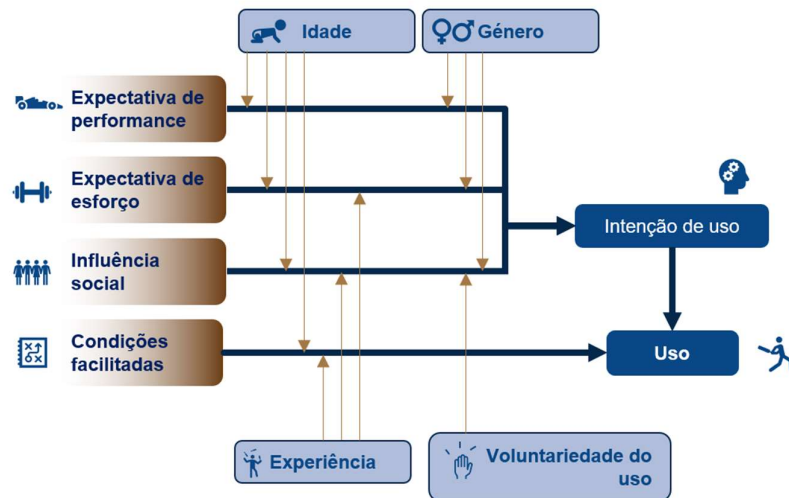


Figura 21 – Modelo Unificado de Aceitação e Uso da Tecnologia

Fonte: Adaptado de DongPing Tang & LianJin Chen, 2011

O modelo UTAUT assume que, para um indivíduo utilizar uma tecnologia nova, primeiro é necessário estimular a sua intenção de uso, o que o levará a tomar a ação. Este estímulo é conseguido com três variáveis determinantes da intenção de uso e uma determinante do uso, representadas, na figura, a castanho. As quatro variáveis a azul-claro são as moderadoras e irão ajustar o peso das determinantes. Quanto ao significado de cada uma, a expectativa de performance, representa a utilidade da tecnologia ou o ganho que tem o utilizador ao aderir. A expectativa de esforço pode ser encarada como a curva de aprendizagem na adoção. A influência social consiste na pressão dos pares, um exemplo simples é a presença de empresas nas redes sociais. As condições facilitadoras consistem no grau em que um indivíduo acredita que existe uma infraestrutura organizacional e técnica para apoiar o uso do sistema (DongPing Tang & LianJin Chen, 2011).

As variáveis moderadoras são autoexplicativas, estas advêm da genética, da personalidade e das experiências de vida e irão permitir segmentar o mercado, permitindo, assim, uma análise mais detalhada e gradual da posição da sociedade face à nova tecnologia.

De acordo com os parágrafos anteriores, é seguro afirmar que existem sólidos indícios de que a tecnologia tem potenciais casos de uso com relevância social e que está a avançar além da

segunda fase da curva de adoção, no entanto, a passagem à adoção generalizada ou ao mercado principal não é um dado adquirido.

Que expectativas de adoção poderão ser esperadas?

- A expectativa de performance está bastante alta, esta visão é corroborada pelo relatório de *hype cycle* da Gartner, no entanto, é expectável alguma resistência de grupos mais conservadores, normalmente, de idade superior e com mais experiência, pois, esta transição implica uma mudança de paradigma significativa e a ideia de aplicação distribuída sem um núcleo central pode ofuscar a visão sobre o valor gerado no processo global (Litan, 2022).
- A expectativa de esforço também tem um peso relevante, uma vez que envolve vários conceitos novos e, por vezes, complicados, todavia, o consumidor final consegue, facilmente, abstrair-se desta curva de aprendizagem. Apesar da tecnologia poder ser diferente, a capacidade aplicacional, onde o cliente interage é idêntica a um site ou a uma aplicação convencional. Fica então o esforço de adoção para quem irá desenvolver os produtos intermédios que fazem a comunicação com a *Blockchain* e aos próprios desenvolvedores da infraestrutura da blockchain. O mesmo conceito de mercado é aplicado, atualmente, às tecnologias de *cloud*.
- A influência social tem potencial para ser dos maiores impulsionadores da tecnologia. Considerando o exemplo, dado anteriormente, de associar o rastreamento do produto, ao longo da cadeia de valor, para identificar a sua sustentabilidade, a concretização deste caso prático tem potencial, para criar a atenção suficiente, de modo a alertar a sociedade para o impacto individual real no cliente final, na vida dos restantes intervenientes, na cadeia de abastecimento e no planeta.
- O campo das condições facilitas apresenta um entrave à adoção. A indústria está preparada para um modelo completamente diferente, sendo necessário trabalhar casos concretos, que forneçam um produto completo, para que o cliente tenha partido das condições necessárias para a adoção.

O modelo UTAUT é uma ferramenta interessante para avaliar a vontade da sociedade e do mercado de adotar uma nova tecnologia. Para não fugir ao foco da dissertação, não faz sentido avançar nessa análise, contudo, fica a oportunidade futura de a desenvolver, partindo para a aferição da aceitação a casos de uso de *Blockchain* em amostras do mercado.

3.3.4 Análise SWOT

O nome desta análise deriva do acrónimo dos seus componentes, em inglês, nomeadamente: *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*, literal para: Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças.

A referida análise é dividida em dois componentes:

- Componentes internos, controlados pelo objeto em análise, passíveis de ser viavelmente alterados, tais como: o caso da arquitetura de uma tecnologia, o conhecimento interno de uma organização, entre outros.
- Componentes externos, não controlados pelo objeto em análise, logo não podem ser alterados ou eliminados, devendo, neste caso, ser adotadas estratégias de mitigação.

Os pontos seguintes resumem os quadrantes da análise(Niranjanamurthy et al., 2019).

3.3.4.1 Forças

- Transparência – Os interessados têm acesso e podem validar os processos. Sendo a informação pública, as transações podem ser facilmente auditadas, favorecendo a confiança na rede;
- Alta eficiência – Elevado potencial de automação com contratos inteligentes, resultando em redução de intermediários e necessidade de subsistemas paralelos;
- Elevada segurança e resiliência – A natureza descentralizada favorece a resistência a falhas e ataques.

3.3.4.2 Fraquezas

- Desafios do acesso – Como qualquer tecnologia emergente, exige formação de novos técnicos e utilizadores;
- Integração com sistemas obsoletos – Empresas com pouca maturidade tecnológica podem ter dificuldade na integração dos seus sistemas;
- Inexistência de normas – No caso das *Blockchains* públicas, principalmente, a nível internacional;
- Cibersegurança – Como qualquer programa informático, uma *Blockchain* está sujeita a erros de programação, passíveis de ser explorados;
- Tecnologia emergente, com vários detalhes por aperfeiçoar;
- Inexistência de poucas interfaces que facilitem a interação.

3.3.4.3 Oportunidades

- Automatização – existe um elevado potencial de automatização de sistemas, desde a gestão de transações às auditorias, gestão de utilizadores, entre outros;
- Otimização de processos de negócio – A disponibilização de dados sobre as transações permite otimizar melhor a análise dos mesmos e das previsões sobre os estados futuros;
- Democratização do mercado – Potencia a entrada de novos intervenientes, no mercado, criando um ambiente competitivo que pode ajudar pequenas organizações a fazer face às multinacionais;
- A crescente popularidade revela abertura da sociedade para a tecnologia, o que também está refletido na posição da OCDE e da UE sobre o tema;
- Os casos de uso associados ao rastreamento das cadeias de abastecimento oferecem um vasto leque de oportunidades a explorar.

3.3.4.4 Ameaças

- Hesitação na adoção pelos governos – A blockchain apresenta um paradigma radicalmente diferente, tanto a nível tecnológico como a nível empresarial. Embora existam diversos grupos de estudo, ainda não é claro como será a relação entre *Blockchain* e legislação;
- Incerteza no impacto da tecnologia – Apesar do elevado potencial, o sucesso de uma tecnologia está dependente da adoção da comunidade empresarial;
- A forte associação da tecnologia blockchain às criptomoedas, tende a ofuscar o potencial da primeira.

3.3.4.5 Conclusão da análise SWOT

Na Tabela 1, estão representadas como as diferentes dimensões de análise se relacionam. A avaliação é favorável se os aspetos positivos tiverem o potencial de compensar ou superar os aspetos negativos.

Tabela 1 – Ilações a tirar da combinação das variáveis da análise SWOT

| | | Ambiente interno | |
|------------------|---------------|---|---|
| | | Forças | Fraquezas |
| Ambiente externo | Oportunidades | Catalisar os pontos fortes para explorar as oportunidades | Mitigar as fraquezas de forma a não interfiram com as oportunidades identificadas |
| | Ameaças | Catalisar os pontos fortes de forma a mitigar ameaças | Mitigar as fraquezas para que não sejam exploradas pelas ameaças |

Começando pelas ameaças, os projetos de blockchain devem apostar na transparência da tecnologia para atrair investidores. Sendo inegável a complexidade inerente da mesma, é fundamental desenvolver plataformas que permitam, facilmente, explorar os dados armazenados na blockchain, de forma a aumentar o grau de confiança na mesma. Outro tema que deve ser sempre tido em conta é a importância de manter o foco nos casos de uso, em alternativa à criptomoeda associada, isto para que a mesma não seja vista apenas como um objeto de especulação, mas como uma tecnologia com potencial de alterar o paradigma dos mercados atuais.

O quadrante da SWOT onde as fraquezas encontram as ameaças é o que apresenta o maior desafio, logo, é imperativo mitigar as fraquezas do mesmo. Criar mais e melhores aplicações de exploração de blockchain e da camada intermédia, que permitam aos *developers* tradicionais interagir com a blockchain, via API, como uma base de dados convencional, baixando, assim, as expectativas de esforço de adoção. O foco em nichos de mercado, seguindo a sugestão de Geoffrey Moore, permitirá uma redução da exposição às ameaças, resultando numa expansão de mercados mais controlada e sustentável. Por fim, ter a segurança dos dados como a prioridade número um, sendo uma tecnologia nova, uma vez que as falhas podem ter um peso muito expressivo na opinião pública, podendo comprometer o desenvolvimento futuro.

O quadrante onde as oportunidades encontram as forças vai ao encontro da sugestão prévia de explorar os nichos de mercado. Cada oportunidade pode e deve ser explorada com vista a catalisar o melhor que a tecnologia tem para oferecer, sendo que um produto bem projetado irá resultar em pontes que permitirão cruzar o abismo da curva de adoção.

Por fim, há que ter atenção para que os desenvolvimentos planeados para a exploração das oportunidades não colidam com as fraquezas da tecnologia. É importante ter atenção à

obsolescência dos eventuais mercados-alvo e desenvolver produtos completos, que não dependam de terceiros para a sua implementação. Mais uma vez, ter a proteção dos dados como prioridade e, por último, ter um sistema abstrato, que não colida com barreiras legais que possam existir.

3.3.5 Vantagem competitiva do modelo

A vantagem competitiva deve dos principais componentes da estratégia de desenvolvimentos de novas tecnologias. Por mais características que um produto posso ter, se não existir algo que o destaque das alternativas, numa terá viabilidade.

No caso do use case de utilizar partilhar a informação da cadeia de abastecimento em *Blockchain*, foram identificadas quatro dimensões de vantagem:

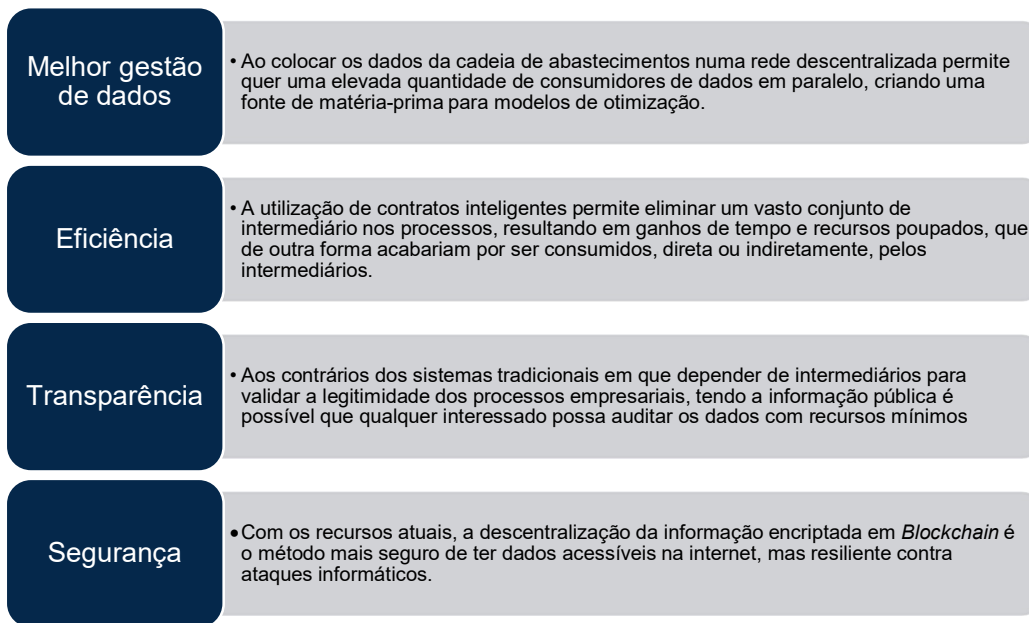


Figura 22 - Vantagem competitiva da blockchain

A ordem das vantagens na Figura 22 representa sugere a importância de cada uma no *design* de soluções, sendo a segurança a base de onde as restantes assentam, pois, um sistema informático precisa antes de mais de ser confiável para que seja adotado pelo mercado, sem seguida a transparência, no caso da *Blockchain* é um dos pontos de diferenciação, difícil de alcançar com tecnologias concorrentes. A eficiência e a gestão de dados de um sistema complexo é sempre um desafio e uma oportunidade de melhoria, e o sistema descentralizado oferece um novo paradigma disruptivo, que associado às restantes vantagens criar uma tecnologia robusta com características tecnicamente difíceis de contra-atacar a nível estratégico.

4 Caso prático

Nos pontos anteriores, foi apresentado um modelo que visa melhorar a eficiência das transações numa cadeia de abastecimento, de seguida aferiu-se o potencial atual da tecnologia blockchain. Neste capítulo será apresentado um caso prático que visa simular o fluxo de informação numa cadeia de abastecimento, esta abordagem tem como princípio ilustrar como uma mudança de paradigma nos fluxos de informação pode alterar significativamente a eficiência de uma cadeia de abastecimento.

O simulador descrito nos próximos pontos replica os fluxos de informação e de material realizados por uma gestão tradicional contra uma gestão assente em blockchain.

A configuração do simulador teve em consideração os seguintes casos:

Caso 1: A gestão de stock apenas com base nas encomendas recebidas e no inventário de segurança, não existe otimização nem partilha de informação

Caso 2: A informação das encomendas é partilhada com os restantes atores do sistema, e todos reagem quando a encomenda é feita ao primeiro ator.

4.1 Premissas

No desenvolvimento desde simulador foram tidas em consideração as seguintes premissas:

- Devem ser comparadas diferentes estratégias de gestão de cadeias de abastecimento;
- O estado inicial deve ser idêntico entre diferentes casos de estudo;
- Os testes devem ser replicáveis;
- A alteração das configurações deve ser simples, rápida e não propicia a equívocos que coloquem em causa a execução do simulador;
- O simulador deve ser flexível relativamente à estrutura da cadeia de abastecimento;
- Serão ignorados custos, no decorrer da simulação, custos de aquisição, posse, rutura e transporte;
- Os tempos de fabrico, preparação da encomenda e entrega serão agrupados num único valor gerado a partir gerados com base da distribuição normal, a partir da configuração do ator;
- A configuração dos atores deve ter em vista que o objetivo de uma cadeia de abastecimento é satisfazer as necessidades do cliente final.
- As encomendas são colocadas com quantidades inteiras;
- As entregas são realizadas uma vez por dia.
- Cada ator terá apenas um produto
- Todos os atores terão as mesmas estatísticas de tempos de entrega

4.1.1 Escolhas das tecnologias

A plataforma escolhida para desenvolvimento foi um programa desenhado de raiz em *Python 3*, uma linguagem de programação de alto nível. A linguagem foi escolhida não só por ser de código aberto, mas também por ter uma grande comunidade de desenvolvimento com bastantes *frameworks* e bibliotecas especializadas no tratamento de dados e em ciência de dados.

4.2 Arquitetura

O simulador foi desenvolvido numa arquitetura orientada a objetos, esta escolha de abordagem teve em vista tomar partido da abstração que permite. Ao dar identidade a um objeto as suas propriedades são guardadas no mesmo, tal como os métodos que utiliza para realizar as ações programadas, conceito designado com encapsulamento.

A base da simulação está assente num conjunto de classes representadas no diagrama da Figura 23 e que serão descritas em seguida:

A classe *simulation* guarda o código identificador da simulação, o dia a ser simulado, alguns elementos que facilitam a troca de informação entre atores com é o caso do *cookbook* onde ficam guardadas todas as “receitas” com a informação da matéria-prima necessária para produzir cada produto e todos os objetos utilizados na simulação, que serão descritos nas classes seguintes.

A classe *SupplyChain* irá guardar a estrutura da cadeia de abastecimento. Esta foi idealizada para guardar a relação entre cada elemento da cadeia de abastecimento e identificar os atores do fim da cadeia.

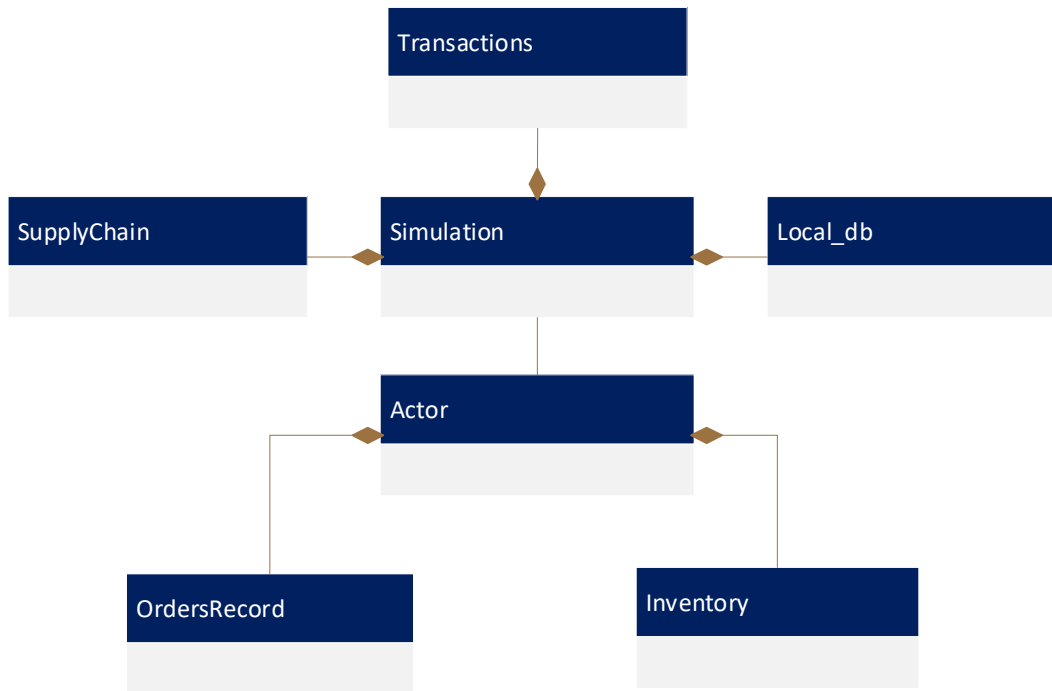


Figura 23 – Diagrama de classes simplificado, Diagrama completo em anexo

Fonte: Elaboração própria

A classe *Actor* é a mais importante e complexa de todo o simulador, ao iniciar a simulação cada objeto ator é criado e guardado numa lista dentro da classe simulador. Esta decisão teve em vista utilizar o objeto da simulação como elemento agregador de toda simulação, desta forma para aceder a diferentes atores, basta aceder aos objetos guardados na lista.

O ator tem como parâmetros internos o seu id que o identifica ao longo da simulação em todas as suas interações, o parâmetro *average_time* guarda o tempo médio que cada ator demora a processar e entregar uma encomenda, sendo o *variation_time* o desvio padrão do mesmo.

O ator tem duas classes em relação de composição, logo, quando o ator é criado estes são também criados o registo de encomendas, construído pela classe *OrdersRecord*, e o inventário construído pela classe *Inventory*, descritas em seguida.

A classe *OrdersRecord* irá armazenar a informação das encomendas do ator em listas, utilizando o parâmetro *last_order* como identificador único da encomenda de forma que a mesma seja rastreável ao longo da simulação.

Cada encomenda (*order*) é registada na forma de lista com os seguintes 7 elementos: data de criação, código do produto, quantidade encomendada, id do cliente, id da encomenda, estado e

por um dicionário para dar a liberdade de adicionar mais informação no futuro sem quebrar a estrutura.

A condição das encomendas é feita pelo campo estado materializado por um número inteiro, com os seguintes significados:

- 0 – Encomenda recebida, mas não processada
- 5 – Encomenda processada, mas identificada malta de matéria-prima
- 6 – Matéria-prima encomendada para satisfazer o pedido
- 9 – Encomenda fechada

A classe *Inventor* mantém o registo de todos os itens dentro do ator. O parâmetro *main_inventory* é um dicionário com as informações relativamente aos produtos guardados. Os parâmetros *max_capacity* e *presente_capacity* representam respetivamente a quantidade máxima e a atual de produtos no inventário, independente do tipo de produto.

A classe *Transactions* é responsável pelas trocas de matéria-prima entre os atores, é legítimo fazer analogia com a transportadora que transporta os produtos entre atores. Quando um ator tem condição para enviar uma encomenda cria um registo nesta classe em que adiciona os seguintes campos:

- *deliver_day* – Dia de entrega, criado com base na estatística definida para o ator;
- *order_id* – Id da encomenda que deu origem ao pedido, usado para rastrear os pedidos;
- *order_criation_day* – Data de criação da encomenda que deu origem ao pedido, permite calcular o lead time;
- *sending_day* – Dia de envio, regista o dia em que o ator teve condições para proceder ao envio;
- *sender* – Id do ator que envia;
- *receiver* – Id do ator que recebe a encomenda;
- *product* – Id do produto;
- *quantity* – Quantidade a enviar;
- *transit_time* – Tempos de transito, inicialmente a -1 e, no processo de entrega, atualizado para a diferença entre o tempo de envio e tempo de receção;
- *lead_time* – Tempo entre a data de criação da encomenda até à entrega;
- *theoretical_lead* – Lead time teórico, período esperado para a entrega;
- *update_day* – dia em que o registo foi alterado que identifica também o dia real de entrega.
- *transaction_id* – Identificar único da transação;
- *delivered* – Valor binário se passa de zero para um quando a encomenda é entregue.

Os métodos de criação e de receção de encomendas automaticamente adicionam ou removem produtos do inventário de cada ator, depois de realizar um conjunto de validações como se existe stock suficiente para enviar ou espaço no inventário para receber mais material.

4.3 Estrutura do código

A estrutura do código e as funcionalidades de cada ficheiro estão listadas na Figura 24. Combinados os ficheiros passam dos quatro milhares de linhas de código, o que inviabiliza a sua descrição detalhada. De forma a manter o projeto público, o mesmo pode ser consultado no repositório de código Github em: <https://GitHub.com/TiagoSRodrigues/Bullwhip>.

| | |
|------------------------------|---|
| Bullwhip | -> Pasta raiz do pacote |
| Bullwhip_environment.yml | -> Ficheiro com as bibliotecas python necessárias para a execução |
| README.md | -> Ficheiro com instruções de execução |
| __init__.py | -> Ficheiro indicador do pacote e instruções de arranque da simulação |
| actors_configuration_edit.py | -> Ficheiro com código auxiliar para criar ficheiros de configuração |
| after_run_analysis.py | -> Ficheiro com código para extrair os resultados após a simulação |
| configs | -> Pasta com as configurações iniciais a testar |
| actors_confings_A.json | -> Ficheiros com as configurações iniciais |
| actors_confings_B.json | |
| actors_confings_C.json | |
| actors_confings_D.json | |
| data | -> Pastas de armazenamento de dados |
| logs | -> Pasta para registo do logs |
| input_data | -> Pasta com os dados de entrada para o simulador |
| results | -> Pasta de para exportação dos resultados finais |
| simulation_configuration.py | -> Ficheiro com as configurações internas do simulador |
| simulator | -> Pasta com o código do simulador |
| __init__.py | -> Ficheiro indicador do pacote python do simulador |
| actors.py | -> Ficheiro com código de gestão dos atores |
| data_input.py | -> Ficheiro com código com as funções para importar os dados iniciais |
| database.py | -> Ficheiro com código de gestão da dados durante a simulação |
| easter_eggs.py | -> Ficheiro com código com instruções para impressão do texto |
| final_stats.py | -> Ficheiro com código para extração dos dados finais |
| inventory.py | -> Ficheiro com código de gestão de inventário do ator |
| logging_management.py | -> Ficheiro com código para gestão de logs e debug |
| main.py | -> Ficheiro com código do loop principal da simulação |
| orders_records.py | -> Ficheiro com código de gestão de encomendas do ator |
| simulation.py | -> Ficheiro com código de gestão da simulação |
| supply_chain.py | -> Ficheiro com código de gestão do supply chain |
| transactions.py | -> Ficheiro com código de gestão das simulações |

Figura 24 - Estrutura do simulador

Fonte: Elaboração própria

4.4 Configuração do simulador

Um dos objetivos no desenvolvimento do simulador era que o mesmo fosse dinâmico de forma a rapidamente testar diferentes configurações de cadeias de abastecimento com diferente número de atores, disposições, características dos mesmos. Desta forma a configuração é separada em dois componentes:

O ficheiro de configuração da simulação guarda as configurações base para execução do código, nomeadamente diretórios com os dados de entrada e registos do programa, entre outros parâmetros de gestão do programa.

O ficheiro de configurações dos atores contem as informações de cada ator, consiste num ficheiro JSON com uma chave, "actors", em que valor é uma lista de objetos, em que cada um

tem as configurações de cada ator, como o id, a média e o desvio padrão do tempo do processo, utilizado para o cálculo do dia de entrega, o tamanho máximo do inventário e o prazo do histórico tal como o fator de segurança (ou nível de serviço) a considerar no encomenda de matéria prima, e por fim uma lista com os produtos que o ator pode entregar. A lista de produtos também, é uma lista de objetos com informação do id do objeto, inventário inicial, e de segurança e a composição do mesmo.

A composição do produto será utilizada na produção do mesmo, quando o stock baixa o ator analisa a sua composição e encomenda a matéria-prima para produzir o mesmo. Considere-se o exemplo do produto X que tem como composição uma unidade do produto Y e duas do Z, então para produzir uma unidade o ator terá de encomendar respetivamente uma e duas unidades das matérias-primas aos respetivos atores, esperar a sua entrega e finalmente produzir o produto X.

De forma a facilitar o desenvolvimento do simulador foram definidas premissas para as nomenclaturas dos produtos. Cada produto terá um id de quatro dígitos, sendo o algarismo dos milhares correspondente ao ator que o produz, sendo o identificador do produto dado pelos restantes algarismos começando em 001. Desta forma quando o produto 1001 surge na lista de encomendas é claro que se trata de um produto do ator 1 e nunca poderá surgir num inventário de um ator a montante da cadeia.

4.5 Construção da cadeia de abastecimento a partir da configuração

A cadeia de abastecimento é construída a partir da informação dos produtos que cada ator tem na sua configuração inicial, analisando a composição de cada produto, o simulador irá criar uma estrutura em árvore adicionando o id do ator que fornece a matéria-prima em cada novo nível. Este método permite identificar fácil e rapidamente quais os atores do fim da cadeia de abastecimento, aspecto importante pois estes não podem produzir pois não têm quem lhes forneça matéria-prima, para resolver esta questão o ator do fim da cadeia de abastecimento tem um inventário infinito de produtos, obtido por uma reposição automática do stock.

É importante salientar, no contexto do formato da cadeia de abastecimento, que apesar do simulador ter sido desenvolvido a pensar nesta característica de se adaptar a diferentes estruturas de cadeias de abastecimento, a cadeia utilizada nos casos de estudo é linear, idêntica à da figura seguinte.

Esta decisão deveu-se ao elevado número de variáveis em estudo, sendo o objetivo principal a análise do efeito da partilha de informação na cadeia de abastecimento, considerou-se que a dimensão adicional de ramificações na cadeia não seria produtiva por trazer novas variáveis e que aumentariam consideravelmente a complexidade e o tempo da análise de dados.

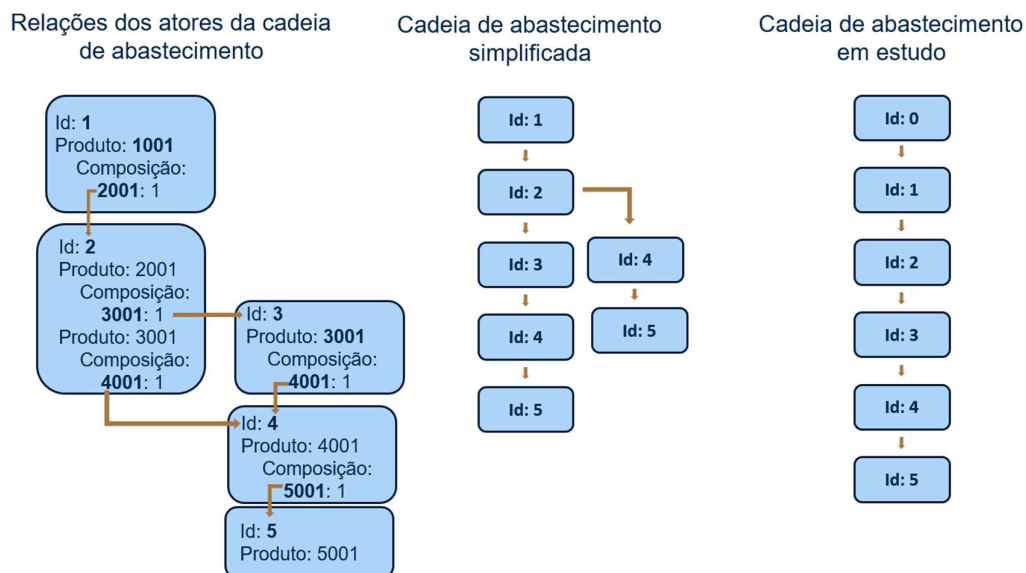


Figura 25 – Exemplo de construção e estrutura da cadeia de abastecimento

Fonte: Elaboração própria

4.5.1 Execução do simulador

A execução do simulador está dividida em três partes. Inicialmente são carregadas as configurações para a sua execução, e as configurações dos atores, em seguida é criado o objeto da simulação seguido de um *loop* que irá construir individualmente cada ator a partir da sua configuração no ficheiro de configurações dos atores, assim como cada um dos seus objetos de registo de inventário e encomendas, após a criação os objetos (atores) são guardados numa lista dentro do objeto simulação e o seu id é adicionado ao objeto SupplyChain.

É de salientar que o cliente final, designado de “*Customer*” e com id igual a zero, por opção durante o desenvolvimento, não tem a sua configuração no ficheiro de configurações dos atores, a decisão teve em vista evitar erros que pudessem comprometer o funcionamento, ou a qualidade dos dados da simulação, desta forma, imediatamente antes do primeiro ator do ficheiro de configuração ser construído, é criado o ator zero, sem produtos no inventário e com um limite de inventário de ilimitado.

Por fim são identificados os atores do fim da cadeia de abastecimento e são carregados os dados das encomendas iniciais, sobe a forma de uma lista ordenada de números inteiros, que correspondem à encomenda diária feita pelo cliente final ao ator 1.

Na segunda parte inicia-se o *loop* principal da simulação, este irá fazer iterações por cada elemento da lista de encomendas iniciais, executando entre cada uma os seguintes comandos por ordem:

1. É verificado se existem encomendas a entregar ao cliente final
2. É feita uma encomenda ao primeiro ator, com a quantidade indicada na lista
3. É iniciado um segundo *loop* que irá invocar cada ator pela sua ordem na cadeia de abastecimento, para que este proceda à sua gestão interna através das seguintes atividades:
 - a. Verificação que o ator em contexto não é o cliente final
 - b. Execução do método de gestão de encomendas, que irá:
 - i. Verificar se existem transações para receber, se positivo tentar receber as mesmas, se o inventário máximo permitir;
 - ii. Verificar se existem encomendas para enviar, se existirem tenta enviar as mesmas, se não existir o produto em inventário tenta produzir e enviar, se não conseguir produzir adicionar a encomendas à lista das encomendas à espera de stock;
 - c. Executa o método de gestão de inventário, que executa as seguintes verificações:
 - i. Confirma que o ator não é um elemento do fim da cadeia de abastecimento;

- ii. Carrega a lista de encomendas à espera de stock, e adiciona as quantidades necessárias para satisfazer as encomendas em stock à lista de encomendas a fazer no dia;
 - iii. Verifica cada o inventário de cada um dos seus produtos e compara com o inventário de segurança, se um produto estiver abaixo do inventário de segurança adiciona o mesmo à lista das encomendas a fazer no dia;
 - iv. Por fim soma todas as quantidades e produtos na lista de encomendas do dia e executa uma encomenda por matéria-prima.
4. Por fim incrementa uma unidade ao dia da simulação e volta ao início do *loop*.

A terceira parte da execução do simulador são calculadas as estatísticas dos atores e a informação é carregada na base de dados.

4.6 Caso de estudo 1

Este caso, será utilizado como controlo, visa replicar o comportamento de uma cadeia de abastecimento simples, sem auxílios de otimização além das técnicas tradicionais de gestão de stock e onde a informação não é partilhada entre atores.

Neste contexto o ajuste da quantidade ideal de matéria-prima a encomendar são calculadas tendo em conta a procura média e o desvio padrão da procura diária, prazo médio do tempo de entrega da matéria-prima e o seu desvio padrão. O ajuste deste modelo aos objetivos da organização é dado pelo fator de segurança, valor de desvios padrão a considerar para que o stock não esgote.

O fator de segurança, ou nível de serviço pretendido corresponde à segurança pretendida de que não existirá quebras de inventários e é dado pela seguinte formula (Lambert, Stock, & Ellram, 1997):

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Onde Z é o fator de segurança, x é o valor alvo a obter, μ e σ são respetivamente a média e o desvio padrão do histórico de encomendas.

O valor a partir do qual o ator deve encomendar matéria-prima, o ponto de encomenda (PE) é dado pela seguinte formula (Lambert, Stock, & Ellram, 1997):

$$PE = (\text{procura média diária} \times \text{prazo de entrega médio}) + Z\sigma_{alt}, \text{ sendo:}$$

Z = Fator de Segurança

σ_d = Desvio padrão da procura por dia

σ_{it} = Desvio padrão do prazo de entrega

$$\sigma_{alt} = \sigma_d \times \sqrt{(\text{prazo médio de entrega} \times \sigma_d^2) + (\text{procura média diária})^2 \times \sigma_{it}^2}$$

Neste caso de estudo todos os dias é avaliado o stock de segurança, se a quantidade em inventário estiver abaixo do PE, o ator faz um pedido de matéria-prima. O fluxo de informação (encomendas) e matéria-prima do caso 1 estão representados na Figura 26.

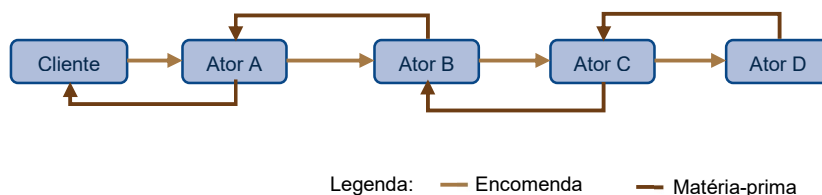


Figura 26 – Ilustrativa do caso 1

4.7 Caso de estudo 2

Este caso, simula a partilha de informação via blockchain. Para efeitos académicos com vista a demonstrar o conceito, no entanto, não exigir recursos significativos de desenvolvimento, apenas é simulado o fator de análise, o fluxo de informação. Os passos gerais deste caso são, estão ilustrados na Figura 27, e descritos em seguida:

1. O cliente faz uma encomenda
2. O primeiro ator recebe a encomenda e faz de uma só vez as encomendas de matéria-prima necessárias para suprimir esta necessidade, para todos os atores da cadeia de abastecimento
3. Todos os atores enviam os seus produtos ao mesmo tempos

A premissa deste caso é que apensar de existir um stock mínimo para resposta no mesmo dia à encomenda feita, não existe falha de stock, pois no início do dia quando recebe a encomenda, este tira do seu stock o material para enviar, no entanto, no início do ciclo seguinte, antes de receber encomendas já terá repostado o material em falta do período anterior.

O fluxo de informação do caso 1 estão representados na Figura 27, reaparece-se como este difere do caso 1, aqui o ator A partilha a informação com os restantes, desta forma a matéria-prima é enviada de todos ao mesmo tempo.

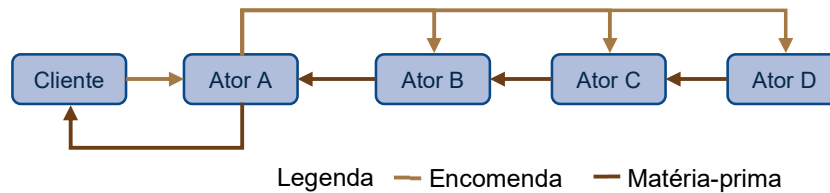


Figura 27 – Ilustração do caso 2

4.8 Dados de entrada

De forma trazer a dinâmica económica para a simulação, foi utilizado o valor da taxa de câmbio dólar americano – euro entre janeiro de 2000 e dezembro de 2021, os dados foram obtidos a partir do banco de Portugal. A utilização do valor de câmbio resolve dois problemas, por um lado são dados da economia real, por outro elimina a necessidade de expor dados organizacionais.

Esta associação entre uma taxa de câmbio e o número de encomendas, simula um produto com elasticidade unitária, em que que a procura é linearmente proporcional ao preço do produto, é o exemplo de alguns produtos de eletrónica de consumo como telemóveis, televisões ou produtos para a casa.

Com vista a extrair a maior informação útil dos dados iniciais foram aplicadas as seguintes transformações:

Os dias em que não existe cotação, fins de semana, feriados, etcétera, é utilizado o valor do último dia útil anterior;

De forma a utilizar números inteiros nas encomendas e, no entanto, manter alguma flutuação foi avaliada a hipótese de aumentar artificialmente a magnitude da cotação. Na Tabela 2 pode observar-se o impacto no conjunto inicial de dados de uma multiplicação por múltiplos de 10, até aos 10000, pois a cotação é dada com 4 casas decimais, e este fator de multiplicação permite a utilização de todos os algarismos.

Apesar de as médias e desvios padrão manterem a proporcionalidade, como é esperado, as amplitudes aumentam significativamente e os valores únicos (quantidade de números diferentes dentro da amostra) aumentam significativamente.

Foi então escolhido uma multiplicação de 10 000, por permitir aproveitar ao máximo a variabilidade dos dados iniciais, sem adulterar a relação entre si.

Tabela 2 – Comparação das transformações testadas

| Métrica | X1 | X10 | X100 | X1000 | X10 000 |
|---|------|-------|--------|---------|----------|
| Média | 1.02 | 12.06 | 120.50 | 1204.96 | 12049.06 |
| Desvio padrão | 0.15 | 1.62 | 16.00 | 159.94 | 1599.35 |
| Mínimo | 1 | 8 | 83 | 825 | 8252 |
| Máximo | 2 | 16 | 160 | 1599 | 15990 |
| Amplitude | 1 | 8 | 77 | 774 | 7738 |
| Valores únicos | 2 | 9 | 78 | 707 | 3451 |
| Variação da amplitude para o antecessor | 700% | 863% | 905% | 900% | 700% |
| Variação dos v. únicos para o antecessor | 350% | 767% | 806% | 388% | 350% |

4.9 Configurações testadas

Todos os atores iniciam a simulação com stock para satisfazer as encomendas dos primeiros 30 dias sem receber stock, o objetivo é evitar o pico de encomendas iniciais originado pela ausência de stock, e permitir à gestão de stock gradualmente ir corrigindo as variações.

Para cada caso de estudo foram realizados quatro testes, com as seguintes configurações:

- Teste A: Cinco atores com fator de segurança de 2.33 e um tempo médio de entrega de 5 dias, com desvio padrão de 1 dia.
- Teste B: Cinco atores com fator de segurança de 1.29 e um tempo médio de entrega de 5 dias, com desvio padrão de 1 dia. O objetivo deste teste é aferir a Influencia do fator de segurança.
- Teste C: Nove atores com fator de segurança de 1.29 e um tempo médio de entrega de 5 dias, com desvio padrão de 1 dia. O objetivo deste teste é aferir o impacto do comprimento da cadeia do abastecimento.
- Teste D: Nove atores com fator de segurança de 1.29 e um tempo de entrega de 1 dia. O objetivo deste teste é aferir o impacto do tempo de entrega.

Os referidos testes serão ambos aplicados aos casos 1 e 2, referidos previamente.

4.10 Resultados

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados dos testes efetuados. Os testes (A, B, C, D) estão agrupados pelo tipo caso em estudo (1 – modelo tradicional, 2 – partilha de informação).

Nos resultados apresentados, o lead time representa o tempo entre a encomenda e a receção do material, a quantidade encomenda consiste na dimensão da encomenda, e o número de entregas consiste no número transações realizadas com sucesso e por fim o número de produtos entregues consiste no inventário final do ator zero, que representa o cliente final.

Tabela 3 – Resultados dos testes

| Teste | Lead Time | | Quantidade da encomenda | | Número de entregas | Produtos entregues ao cliente |
|------------|-----------|---------------|-------------------------|---------------|--------------------|-------------------------------|
| | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão | | |
| A-1 | 23.12 | 10.41 | 12 052 | 1 602 | 248 | 2 992 149 |
| A-2 | 7.45 | 1.10 | 16 870 | 3 306 | 28 662 | 69 093 658 |
| B-1 | 22.77 | 10.28 | 12 052 | 1 602 | 252 | 3 038 141 |
| B-2 | 7.48 | 1.11 | 16 869 | 3 306 | 28 663 | 69 104 975 |
| C-1 | 23.07 | 10.68 | 12 052 | 1 602 | 249 | 2 998 634 |
| C-2 | 7.65 | 0.87 | 17 405 | 2 999 | 51 590 | 69 093 658 |
| D-1 | 22.79 | 10.31 | 12 052 | 1 602 | 252 | 3 035 475 |
| D-2 | 1.94 | 0.23 | 17 404 | 2 998 | 51 642 | 69 138 921 |

Para facilitar a análise dos resultados, a Tabela 4 apresenta os coeficientes da variação do lead time. O coeficiente de variação representa a dispersão da população, quanto maior o coeficiente maior a dispersão. Numa cadeia de abastecimento, pretendem-se coeficientes de variação reduzidos, o que indica que um desvio padrão baixo, logo o processo é estável e previsível.

Tabela 4 – Coeficientes de variação dos testes

| Teste | Coeficiente de variação |
|------------|-------------------------|
| | lead time |
| A-1 | 45% |
| A-2 | 15% |
| B-1 | 45% |
| B-2 | 15% |
| C-1 | 46% |
| C-2 | 11% |
| D-1 | 45% |
| D-2 | 12% |

Um fator comum em todos os testes do caso 1 é a sua elevada variação, oriunda do efeito chicote propagado pela cadeia de abastecimento. No caso 2 a variação é significativamente mais reduzida, apresentando indícios do sucesso da partilha de informação.

Na

Tabela 5 é possível observar a comparação entre os casos de teste, mais concretamente o ganho o ganho em cada teste do caso 2 relativamente ao caso 1.

Os resultados sugerem que a partilha de informação pelos atores da cadeia de abastecimento é bastante favorável para a redução do lead time, esta melhoria é verificada em todos os testes, no entanto destaca-se especialmente no teste D, onde o prolongar da cadeia de abastecimento, caso em que a partilha de informação se revela especialmente.

*Tabela 5 –
variação entre*

| | Lead Time | Produtos Entregues |
|----------|-----------|--------------------|
| A | 27% | 2 209% |
| B | 36% | 2 175% |
| C | 32% | 2 204% |
| D | 64% | 2 178% |

*Comparação da
modelos*

Tendo em consideração os resultados anteriores, verifica-se que a hipótese colocada da partilha de informação favorecer a eficiência da cadeia de abastecimento é verificada, nas condições estudadas.

5 Conclusões

A presente dissertação teve como objetivo analisar o efeito chicote no contexto da indústria 4.0, e identificar como as novas tecnologias podem, e estão, a dar novas ferramentas às empresas para que as mesmas consigam responder às variações do mercado atempadamente, sem custos adicionais sejam estes por excesso de inventário ou pela falta do mesmo.

De forma a melhor compreender com o as técnicas de *Machine Learning* podem auxiliar a gestão a desenvolver progressos mais eficientes e resilientes foi analisado todo o percurso a ter em consideração, para adicionar técnicas de dados numa organização. O mercado atual é dos mais velozes e competitivos da história, o que se reflete na pressão colocada nos gestores para colocar em produção novos projetos que gerem valor a curto prazo, normalmente associados a automação de processamento de dados, no entanto, ao contrário de outras matérias-primas um acidente relacionado com informação por norma não é reversível, como por exemplo uma fuga de dados sensíveis. Foi tendo em conta esta preocupação com a exploração correta dos sistemas de informação que foi dada a atenção ao tema no ponto 2.2, com a ambição de não só mostrar os componentes e ferramenta, mas também a importância da sua gestão cuidada.

Na componente de blockchain, foi igualmente, tida em atenção a importância de compreender os seus componentes de forma a melhor visualizar o potencial da tecnologia para a indústria futura.

A adoção de um modelo conceptual teve a visão de fazer uso das ferramentas de gestão industrial não só para a idealização do modelo, mas também para a sua análise estratégica e de viabilidade. Esta análise foi desenvolvida no ponto 3.3, Análise estratégica identificou um forte potencial de expansão da tecnologia, não só para responder ao efeito chicote nas cadeias de abastecimento, mas também foi identificado o potencial para responder a necessidades de transparência.

A construção do simulador de cadeia de abastecimento foi concluída com sucesso, e os casos de estudo foram executados de acordo com o previsto e os resultados obtidos relevam um potencial melhoria significativa na eficiência da cadeia de abastecimento.

Concluiu-se que a partilha de informação ao longo de uma cadeia de abastecimento tem potencial para aumentar a eficiência da cadeia de abastecimento ao mesmo tempo que disponibiliza novos dados sobre a mesma que poderão servir como matéria-prima não só para futuras otimizações dos modelos de previsão de encomendas, mas também, para o desenvolvimento de novos mercados que consigam tirar conhecimento dos novos dados gerados.

5.1 Limitações e sugestões de investigações futuras

O desenvolvimento do presente trabalho teve algumas limitações desde a fase inicial até à sua implementação. Assim, menciona-se as seguintes limitações:

- Pela abrangência e complexidade dos temas abordados não foi possível detalhar melhor as técnicas de análise estratégica, principalmente a UTAUT, seria interessante desenvolver esta ferramenta, sondando o mercado de forma a avaliar de forma quantitativa a sua abertura ao blockchain.
- A otimização da parametrização da gestão de inventário dos atores revelou-se especialmente difícil, apensar de em estado estacionário terem surgido resultados interessantes, a aplicação dos dados reais gera grande instabilidade que acaba por perturbar o sistema. Como melhoria futura seria necessário otimizar os métodos de gestão de inventário de forma a torná-los mais próximos das realidades.
- Um tema que pode vir a ser melhor explorado é a integração, de técnicas de *Machine Learning* no simulador da cadeia de abastecimento. No presente trabalho não foi possível desenvolver mais o tema pela camada adicional de complexidade e pelos recursos computacionais adicionais trazidos pela dita integração, no entanto, o seu valor é reconhecido e a arquitetura do simulador foi desenhada de forma a permitir a integração com futuros sistemas.

6 Bibliografia

- Adenso-Díaz, B., Moreno, P., Gutiérrez, E., & Lozano, S. (2012). An analysis of the main factors affecting bullwhip in reverse supply chains. *International Journal of Production Economics*, 917-928. doi:10.1016/j.ijpe.2011.11.007
- Amazon Web Services. (2022, Agosto 10). AWS - Regiões e zonas de disponibilidade.
- Anthopoulos, L., Reddick, C. G., Giannakidou, I., & Mavridis, N. (2016). Why e-government projects fail? An analysis of the Healthcare.gov website. *Government Information Quarterly*, 33(1), 161–173. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2015.07.003>
- Babai, M., Boylan, J., Syntetos, A., & Ali, M. (2016). Reduction of the value of information sharing as demand becomes strongly auto-correlated. *International Journal of Production Economics*, 130-135. doi:10.1016/j.ijpe.2015.05.005
- Bains, P. (2022). *Blockchain Consensus Mechanisms: A Primer for Supervisors*.
- BBC. (05 de 04 de 2017). UK charities fined for data law breaches. Obtido em 15 de 08 de 2022, de BBC News: <https://www.bbc.com/news/technology-39502258>
- BBC. (05 de 10 de 2020). H&M fined for breaking GDPR over employee surveillance. Obtido de BBC Tech: <https://www.bbc.com/news/technology-54418936>
- Beesley, A. (8 de 08 de 2022). <https://www.irishtimes.com/technology/2022/08/08/facebook-faces-new-eu-data-fine/>. Obtido em 30 de 08 de 2022, de The Irish Times: irishtimes
- Berners-Lee, T., Cailliau, R., Groff, Jean-François, & Pollermann, B. (1992). World-Wide Web: The Information Universe. *Internet Research*, 52-58. doi:10.1108/eb047254
- Boehm, M., Kumar, A., & Yang, J. (2019). Data Management in Machine Learning Systems. *Synthesis Lectures on Data Management*, 14(1), 1–173. <https://doi.org/10.2200/s00895ed1v01y201901dtm057>
- Boute, R. N., Disney, S. M., Lambrecht, M. R., & van Houdt, B. (2007). An integrated production and inventory model to dampen upstream demand variability in the supply chain. *European Journal of Operational Research*, 178(1), 121–142. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.023>
- Case Studies on the Regulatory Challenges Raised by Innovation and the Regulatory Responses. (2021). OECD. <https://doi.org/10.1787/8fa190b5-en>
- Chatfield, D. C., Kim, J. G., Harrison, T. P., & Hayya, J. C. (2009). The Bullwhip Effect-Impact of Stochastic Lead Time, Information Quality, and Information Sharing: A Simulation Study. *Production and Operations Management*, 13(4), 340–353. Doi:10.1111/j.1937-5956.2004.tb00222.x

- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J. K., & Simchi-Levi, D. (2000). Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information. *Management Science*, 436-443. doi:10.1287/mnsc.46.3.436.12069
- Chen, L., & Lee, H. L. (2009). Information sharing and order variability control Under a generalized demand model. *Management Science*, 55(5), 781–797. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1080.0983>
- Chen, X., Huang, B., & Lin, C.-T. (2019). Environmental awareness and environmental Kuznets curve. *Economic Modelling*, 77, 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.02.003>
- Comissão Europeia. (2022, Julho 31). *Blockchain Strategy | Shaping Europe's digital future*.
- Croson, R., & Donohue, K. (2006). Behavioral Causes of the Bullwhip Effect and the Observed Value of Inventory Information. *Management Science*, 323-336. doi:10.1287/mnsc.1050.0436
- Cuomo, S. (2011). A Roman Engineer's Tales. *Journal of Roman Studies*, 101, 143-165. doi:10.1017/S0075435811000098
- de Haes, S., van Grembergen, W., & Debreceeny, R. S. (2013). COBIT 5 and Enterprise Governance of Information Technology: Building Blocks and Research Opportunities. *Journal of Information Systems*, 27(1), 307–324. <https://doi.org/10.2308/isys-50422>
- Dejonckheere, J., Disney, S. M., Lambrecht, M. R., & Towill, D. R. (2004). The impact of information enrichment on the Bullwhip effect in supply chains: A control engineering perspective. *European Journal of Operational Research*, 153(3), 727-750. doi:10.1016/S0377-2217(02)00808-1
- Dejonckheere, J., Disney, S. M., Lambrecht, M. R., & Towill, D. R. (2004). The impact of information enrichment on the Bullwhip effect in supply chains: A control engineering perspective. *European Journal of Operational Research*, 153(3), 727–750. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00808-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00808-1)
- Dhar, V. (2013). Data science and prediction. *ACM*, 64-73. doi:<https://doi.org/10.1145/2500499>
- Dokuchaev, V. A. (2020). Digital Transformation: New Drivers and New Risks. 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), 1–7. <https://doi.org/10.1109/EMCTECH49634.2020.9261544>
- DongPing Tang, & LianJin Chen. (2011). A review of the evolution of research on information Technology Acceptance Model. 2011 International Conference on Business Management and Electronic Information, 588–591. <https://doi.org/10.1109/ICBMEI.2011.5917980>
- Drakopoulos, G., Kafenza, E., & al Katheeri, H. (2019). Proof Systems In *Blockchains: A Survey*. 2019 4th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM), 1–6. <https://doi.org/10.1109/SEEDA-CECNSM.2019.8908397>

- Estratégia Nacional de *Blockchain*. (20 de 06 de 2022). Obtido em 16 de 08 de 2022, de Portugal Digital: <https://portugaldigital.gov.pt/acelerar-a-transicao-digital-em-portugal/conhecer-as-estrategias-para-a-transicao-digital/estrategia-nacional-de-Blockchain/>
- Fang, W., Chen, W., Zhang, W., Pei, J., Gao, W., & Wang, G. (2020). Digital signature scheme for information non-repudiation in *Blockchain*: a state of the art review. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020(1), 56. <https://doi.org/10.1186/s13638-020-01665-w>
- Forrester, J. (1968). Industrial Dynamics-After the First Decade. *Management Science*, 398-415. doi:<http://www.jstor.org/stable/2628888>
- Gambella, C., Ghaddar, B., & Naoum-Sawaya, J. (2021). Optimization problems for machine learning: A survey. *Em European Journal of Operational Research* (Vol. 290, Issue 3, pp. 807–828). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.08.045>
- Gasowska, M. K. (2020). Logistics challenges in enterprise management in contemporary conditions. *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series*, 2020(149), 189-204. doi:<https://doi.org/10.29119/1641-3466.2020.149.18>
- Gaur, V., Giloni, A., & Seshadri, S. (2005). Information Sharing in a Supply Chain Under ARMA Demand. *Management Science*, 51(6), 961-969. doi:10.1287/mnsc.1050.0385
- Gavirneni, S. (2006). Price fluctuations, information sharing, and supply chain performance. *European Journal of Operational Research*, 174(3), 1651-1663. doi:10.1016/j.ejor.2005.04.037
- Haber, S., & Stornetta, W. S. (1991). How to time-stamp a digital document. *Journal of Cryptology*, 3(2), 99–111. <https://doi.org/10.1007/BF00196791>
- Hash Functions. (5 de 08 de 2015). Obtido em 25 de 05 de 2022, de Computer Security Resource Center: <https://csrc.nist.gov/Projects/Hash-Functions/NIST-Policy-on-Hash-Functions>
- Hussain, M., & Drake, P. (2011). Analysis of the bullwhip effect with order batching in multi-echelon supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(10), 972-990. doi:10.1108/09600031111185248
- IMO. (28 de 01 de 2021). IMO2020 fuel oil sulphur limit - cleaner air, healthier planet. Obtido em 15 de 12 de 2021, de International Maritime Organization: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/02-IMO-2020.aspx>
- Impagliazzo, R., & Luby, M. (1989). One-way functions are essential for complexity based cryptography. *30th Annual Symposium on Foundations of Computer Science* (pp. 230-235). IEEE Computer Society.
- ISACA. (2012). *COBIT 2019 Framework: Introduction & Methodology*. Rolling Meadows: ISACA.

- Jackson, R. (2019). Mapping Child Labour Risks in Global Supply Chains: An Analysis of the Apparel, Electronics and Agricultural Sectors.
- Jeong, K., & Hong, J. D. (2019). The impact of information sharing on bullwhip effect reduction in a supply chain. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(4), 1739–1751. <https://doi.org/10.1007/s10845-017-1354-y>
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2008). Mastering the Management System. *Harvard Business manager*, 5, 29-49. Obtido de <https://hbr.org/2008/01/mastering-the-management-system>
- Kim, J. G., Chatfield, D., Harrison, T. P., & Hayya, J. C. (2006). Quantifying the bullwhip effect in a supply chain with stochastic lead time. *European Journal of Operational Research*, 617-636. doi:10.1016/j.ejor.2005.01.043
- Kim, J. G., Chatfield, D., Harrison, T. P., & Hayya, J. C. (2006). Quantifying the bullwhip effect in a supply chain with stochastic lead time. *European Journal of Operational Research*, 173(2), 617–636. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.01.043>
- Kumar, A., Boehm, M., & Yang, J. (2017). Data management in machine learning: Challenges, techniques, and systems. *Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Part F127746, 1717–1722. <https://doi.org/10.1145/3035918.3054775>
- Laamanen, T., Lamberg, J.-A., & Vaara, E. (2016). Explanations of Success and Failure in Management Learning: What Can We Learn From Nokia's Rise and Fall? *Academy of Management Learning & Education*, 15(1), 2-25. doi:10.5465/amle.2013.0177
- Lambert, D., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1997). *Fundamentals of Logistics Management*. McGraw-Hill/Irwin.
- Laudon, K., & Laudon, J. (2012). *Managing Information Systems: Managing the Digital Firm*. London: Person education.
- Lee, H. L., So, K. C., & Tang, C. S. (2000). The Value of Information Sharing in a Two-Level Supply Chain. *Management Science*, 46(5), 626-643. doi:10.1287/mnsc.46.5.626.12047
- Lee, H. L., Whang, S., & Padmanabhan, V. (1997). The Bullwhip Effect in Supply Chains. *Sloan Management Review*, 92-102.
- Lee, J.-y., & Wong, E.-c. (2021). Suez Canal blockage: an analysis of legal impact, risks and liabilities to the global supply chain. 339, p. 01019. *EDP Sciences*. doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/202133901019>
- Lee, S. Y., Klassen, R. D., Furlan, A., & Vinelli, A. (2014). The green bullwhip effect: Transferring environmental requirements along a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 39-51. doi:10.1016/j.ijpe.2014.05.010
- Litan, A. (2022). Gartner Hype Cycle for *Blockchain* and Web3, 2022.

- Luong, H. T. (2007). Measure of bullwhip effect in supply chains with autoregressive demand process. *European Journal of Operational Research*, 1086-1097. doi:10.1016/j.ejor.2006.02.050
- Ma, Y., Wang, N., Che, A., Huang, Y., & Xu, J. (2013). The bullwhip effect under different information-sharing settings: a perspective on price-sensitive demand that incorporates price dynamics. *International Journal of Production Research*, 51(10), 3085-3116. doi:https://doi.org/10.1080/00207543.2012.754551
- Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50(4), 370–396. https://doi.org/10.1037/h0054346
- Matt, C., Hess, T., & Benlian, A. (2015). Digital Transformation Strategies. *Em Business and Information Systems Engineering* (Vol. 57, Issue 5, pp. 339–343). Gabler Verlag. https://doi.org/10.1007/s12599-015-0401-5
- Mehrer, J., Spoerer, C. J., Kriegeskorte, N., & Kietzmann, T. C. (2020). Individual differences among deep neural network models. *Nature Communications*, 11(1). https://doi.org/10.1038/s41467-020-19632-w
- Moore, G. A. (2014). *Crossing the chasm*, 3rd edition: Marketing and selling disruptive products to mainstream customers. HarperBusiness.
- Morando, A., Gershon, P., Mehler, B., & Reimer, B. (2021). A model for naturalistic glance behavior around Tesla Autopilot disengagements. *Accident Analysis & Prevention*, 161, 106348. https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106348
- Muller, M. (2011). *Essentials of Inventory Management*. AMACOM.
- Nakamoto, S. (2009, Maio). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. http://www.bitcoin.org/bitcoin.pdf
- Niranjanamurthy, M., Nithya, B. N., & Jagannatha, S. (2019). Analysis of *Blockchain* technology: pros, cons and SWOT. *Cluster Computing*, 22(S6), 14743–14757. https://doi.org/10.1007/s10586-018-2387-5
- OCDE. (2022). *Recommendation on Blockchain and other Distributed Ledger Technologies*.
- Ouyang, Y. (2007). The effect of information sharing on supply chain stability and the bullwhip effect. *European Journal of Operational Research*, 1107-1121. doi:10.1016/j.ejor.2006.09.037
- Pausch-Homblé, K. (2022, Junho 30). Digital finance: agreement reached on European crypto-assets regulation (MiCA). Council of the EU.
- Pawelczyk, M. (9 de 2018). Contemporary challenges in military logistics support. *Security and Defence Quarterly*, 20(3), 85-98. doi:doi.org/10.5604/01.3001.0012.4597
- Pierro, M. D. (2017). What Is the *Blockchain?*. *Computing in Science & Engineering*, 19, 92-95. doi:10.1109/MCSE.2017.3421554.

- Presidência do Conselho de Ministros. (21 de 04 de 2020). Resolução do Conselho de Ministros n.º 30/2020, de 21 de abril. Aprova o Plano de Ação para a Transição Digital. Diário da República. Obtido de <https://files.dre.pt/1s/2020/04/07800/0000600032.pdf>
- Ramesh, N., & Delen, D. (2021). Digital Transformation: How to Beat the 90% Failure Rate? *IEEE Engineering Management Review*, 49(3), 22–25. <https://doi.org/10.1109/EMR.2021.3070139>
- Rollins, J. B. (06 de 2015). Metodologia de Base para Ciência de Dados. New York: IBM Analytics. Obtido de IBM: <https://www.ibm.com/downloads/cas/B1WQ0GM2>
- Ruiz-Lopez, F., Perez-Ortega, J., Ortiz-Hernandez, J., Hernandez-Perez, Y., & Saenz-Sanchez, S. (2021, Agosto 9). Systematic review of methodologies in data science. 2021 Mexican International Conference on Computer Science, ENC 2021. <https://doi.org/10.1109/ENC53357.2021.9534813>
- Sarkar, B., Guchhait, R., Sarkar, M., Pareek, S., & Kim, N. (2019). Impact of safety factors and setup time reduction in a two-echelon supply chain management. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 250-258. doi:doi.org/10.1016/j.rcim.2018.05.001
- Schneider, S., & Kokshagina, O. (2021). Digital transformation: What we have learned (thus far) and what is next. *Creativity and Innovation Management*, 384-411. doi:<https://doi.org/10.1111/caim.12414>
- Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., van den Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T., & Hassabis, D. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *Nature*, 529(7587), 484–489. <https://doi.org/10.1038/nature16961>
- So, K. C., & Zheng, X. (2003). Impact of supplier's lead time and forecast demand updating on retailer's order quantity variability in a two-level supply chain. *International Journal of Production Economics*, 86(2), 169–179. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00050-1)
- Sodhi, M. S., & Tang, C. S. (2011). The incremental bullwhip effect of operational deviations in an arborescent supply chain with requirements planning. *European Journal of Operational Research*, 374-382. doi:10.1016/j.ejor.2011.06.019
- Soltas, E., & Helper, S. (17 de 06 de 2021). Why the Pandemic Has Disrupted Supply Chains. Obtido em 15 de 12 de 2021, de The White House: <https://www.whitehouse.gov/cea/written-materials/2021/06/17/why-the-pandemic-has-disrupted-supply-chains/>
- statista. (02 de 08 de 2022). Amazon Leads \$200-Billion Cloud Market. Obtido em 05 de 08 de 2022, de <https://www.statista.com/chart/18819/worldwide-market-share-of-leading-cloud-infrastructure-service-providers/>
- Statista. (2021). Revenue growth of the meat substitute market worldwide from 2014 to 2026.

- Steckel, J. H., Gupta, S., & Banerji, A. (2004). Supply Chain Decision Making: Will Shorter Cycle Times and Shared Point-of-Sale Information Necessarily Help? *Management Science*, 458-464. doi:10.1287/mnsc.1030.0169
- Steckel, J. H., Gupta, S., & Banerji, A. (2004). Supply Chain Decision Making: Will Shorter Cycle Times and Shared Point-of-Sale Information Necessarily Help? *Management Science*, 50(4), 458–464. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1030.0169>
- Steinkraus, D., Buck, I., & Simard, P. Y. (2005). Using GPUs for machine learning algorithms. *Eighth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR'05)*, 1115-1120 Vol. 2. <https://doi.org/10.1109/ICDAR.2005.251>
- Tabrizi, B., Lam, E., Girard, K., & Irvin, V. (2019). Digital transformation is not about technology. *Harvard Business Review*, 13(March), 1–6. <https://hbr.org/2019/03/digital-transformation-is-not-about-technology>
- Tessian. (22 de 05 de 2022). 30 Biggest GDPR Fines So Far (2020, 2021, 2022). Obtido em 10 de 08 de 2022, de Tessian: <https://www.tessian.com/blog/biggest-gdpr-fines-2020/>
- TradingView, Inc. (2022, Setembro 1). CRYPTOCURRENCY MARKET. TradingView, Inc.
- Tzu, S. (20009). *A arte da Guerra*. Lisboa: Bertrand Editora, 2209.
- United Nations Development Programme. (08 de 08 de 2021). Human Development Index (HDI). Obtido em 13 de 02 de 2022, de United Nations Development Programme: <https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index#/indicies/HDI>
- Van Assche, K., Valentinov, V., & Versc, G. (06 de 06 de 2019). Ludwig von Bertalanffy and his enduring relevance: Celebrating 50 years General System Theory. *Systems Research and Behavioral Science*, 36(3), 251-254. doi:doi.org/10.1002/sres.2589
- Veronika, H., & Boyd, S. (2021, Agosto 11). Plant-based Foods Market to Hit \$162 Billion in Next Decade, Projects Bloomberg Intelligence. Bloomberg Intelligence.
- Wang, X., & Disney, M. S. (2016). The bullwhip effect: Progress, trends and directions. *European Journal of Operational Research*, 250(3), 691-701. doi:10.1016/j.ejor.2015.07.022
- Wang, X., & Disney, S. M. (2016). The bullwhip effect: Progress, trends and directions. *European Journal of Operational Research*, 250(3), 691-701. doi:10.1016/j.ejor.2015.07.022
- Wang, X., & Disney, S. M. (2016). The bullwhip effect: Progress, trends and directions. *Em European Journal of Operational Research (Vol. 250, Issue 3, pp. 691–701)*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.07.022>
- Whang, H. (2000). Information sharing in a supply chain.
- Yadav, S. P., Agrawal, K. K., Bhati, B. S., Al-Turjman, F., & Mostarda, L. (2020). *Blockchain-Based Cryptocurrency Regulation: An Overview*. In *Computational Economics*. *Computational Economics*, 59(4), 1659–1675. doi:<https://doi.org/10.1007/s10614-020-10050-0>

Yao, Y., & Zhu, K. X. (2021). Research Note—Do Electronic Linkages Reduce the Bullwhip Effect? An Empirical Analysis of the U.S. Manufacturing Supply Chains. *Information Systems Research*, 1042-1055. doi:10.1287/isre.1110.0394

Zaleznik, A. (01 de 2004). Managers and leaders: are they different? 70(2), pp. 126-135.

Zamani, E., He, Y., & Phillips, M. (2018). On the Security Risks of the *Blockchain*. *Journal of Computer Information Systems*, 60(6), 495-506.

7 Anexos

Diagrama de classes completo

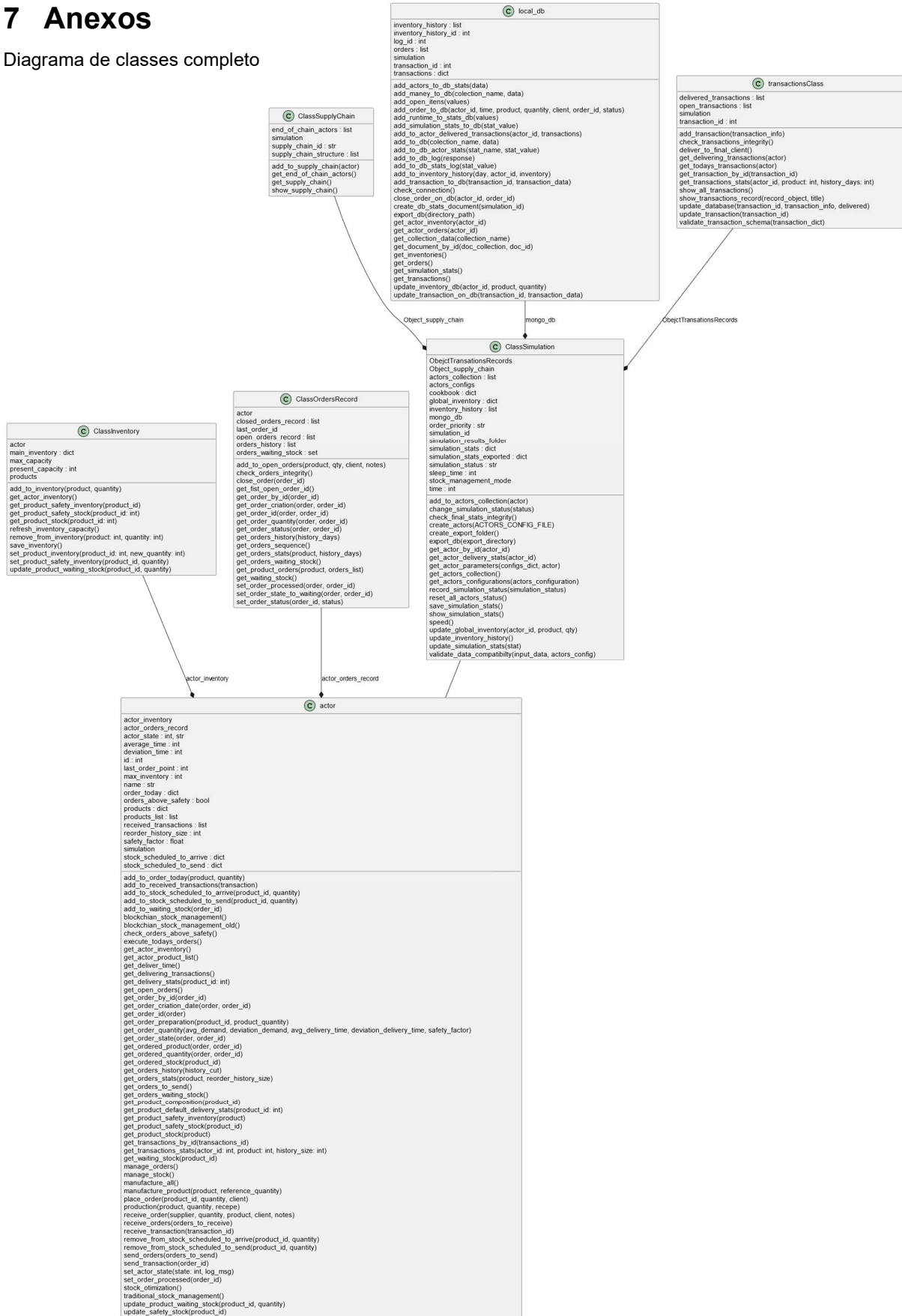


Diagrama de Atividades do arranque da simulação

